IGM87RT-107-586-G
CNRC 27863

L'EXTRUSION SOUFFLAGE DES THERMOPLASTIQUES

par

PIERRE LARIVIERE
TECHNIQUE DES PLASTIQUES PIERRE LARIVIERE INC.
110 Du Marché, Roxton Falls, Québec J0H 1E0

avec la collaboration de

PATRICK GIRARD
Institut de génie des matériaux
75, boul. De Mortagne, Boucherville, Québec J4B 6Y4

pour

Conseil national de recherches Canada

Note au lecteur:

Les idées exprimées dans ce document sont celles de l'auteur (ou du contractant) et ne sont pas nécessairement partagées par l'Institut de génie des matériaux ou par le Conseil national de recherches du Canada. L'auteur (ou le contractant) en assume l'entière responsabilité.

Si la demande est suffisante, des exemplaires supplémentaires de cet ouvrage pourront être disponibles dans la seconde langue officielle (français ou anglais).

Note to the reader:

The views expressed in this document are those of the author (or contractor) who assumes their full responsibility. They are not necessarily shared by the Industrial Materials Research Institute of the National Research Council of Canada.

If sufficient requests are received, a copy of this document will be made available in the other official language (French or English).

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

CHAPITRE 2 PROCÉDÉ

2.1 DESCRIPTION GENERALE DU PROCEDE DE SOUFFLAGE . . . 3
2.1.1 HISTORIQUE: 3
2.1.2 PRINCIPE D'OPERATION: 4
2.1.3 LA TECHNIQUE D'EXTRUSION SOUFFLAGE 5
2.1.4 EQUIPEMENTS DE MOULAGE 6
2.1.4.1 Unité De Plastification Et D'extrusion 6
2.1.4.2 Unité De Moulage Et De Soufflage 6
2.1.5 MOULES POUR EXTRUSION SOUFFLAGE: 8
2.1.6 PINCEMENT (PINCH OFF): 8
2.1.7 EVENTS: 8
2.1.8 REFROIDISSEMENT: 9
2.2 CONTROLE DES EPAISSEURS: 9
2.2.1 MATERIAUX POUR L'EXTRUSION SOUFFLAGE: 10
2.3 DOMAINE D'APPLICATION DU PROCEDE D'EXTRUSION SOUFFLAGE 11
2.3.1 REGLES DE DESIGN 12
2.3.2 CHAMPS D'APPLICATION DE LA TECHNIQUE D'EXTRUSION SOUFFLAGE 12
2.3.3 POTENTIEL DU PROCEDE 13
2.4 VARIANTES DU PROCEDE DE SOUFFLAGE 15
2.4.1 INJECTION SOUFFLAGE 15
2.4.2 INJECTION/EXTRUSION SOUFFLAGE 16
2.4.3 ETIRAGE ET SOUFFLAGE (BI-ORIENTATION): 18
2.4.4 COEXTRUSION SOUFFLAGE: 19

CHAPITRE 3 EQUIPEMENTS

3.1 DIVERS SYSTEMES D'EXTRUSION SOUFFLAGE 23
3.1.1 TYPES ET CATEGORIES 23
3.1.2 EXTRUSION SOUFFLAGE EN CONTINU 24
3.1.3 EXTRUSION CONTINUE "EN SAUCISSON" 25
3.1.4 EXTRUSION CONTINUE AVEC TETE DISTRIBUTRICE . . . 25
3.1.5 EXTRUSION CONTINUE AVEC MOULE SUR NAVETTE . . . 25
3.1.6 EXTRUSION SOUFFLAGE "INTERMITTENT": 28
3.1.6.1 SYSTEME PISTON/VIS: 29
3.1.6.2 SYSTEME CYLINDRE ACCUMULATEUR: 30
3.1.6.3 SYSTEME A TETE ACCUMULATRICE: 30
3.2 UNITE DE PLASTIFICATION ET D'EXTRUSION 34
3.2.1 UNITE DE PLASTIFICATION 34
3.2.2 LE FOURREAU ET LES ELEMENTS CHAUFFANTS 35
3.2.3 LA VIS 35
3.2.3.1 MONOVIS STANDARD 36
3.2.3.2 MONOVIS A PALIER DE DECOMPRESSION 36

3.2.3.3	"POWDER FEED"	38
3.2.3.4	DOUBLE VIS	38
3.2.4	TETES D'EQUERRE	39
3.2.4.1	TETE D'EQUERRE AVEC ALIMENTATION ARRIERE . . .	40
3.2.4.2	ALIMENTATION LATERALE	40
3.2.5	FILIERES ET POINCONS D'EXTRUSION	43
3.2.5.1	SYSTEME POINÇON/FILIERE A OUVERTURE FIXE . . .	44
3.2.5.2	POINÇON ET FILIERE A OUVERTURE AJUSTABLE	44
3.2.6	LA PRESSE POUR EXTRUSION SOUFFLAGE	46
3.2.6.1	SUPPORTER LES MOULES	46
3.2.6.2	FOURNIR LA FORCE DE FERMETURE	47
3.2.6.3	COUPER LA PARAISON	47
3.2.6.4	GONFLER LA PARAISON DANS LE MOULE	47
3.2.6.5	ASSURER L'EJECTION DE LA PIECE	48
3.2.7	CONTROLEUR DE PARAISON	48

CHAPITRE 4 CONTROLE DU PROCÉDÉ

4.1	CONTROLE DU PROCEDE D'EXTRUSION SOUFFLAGE	50
4.2	FORMATION DE LA PARAISON ET CONTROLE DES EPAISSEURS	52
4.2.1	VARIATION LONGITUDINALE DES EPAISSEURS	53
4.2.2	VARIATION CIRCONFERENTIELLE DES EPAISSEURS . .	54
4.2.3	ENFLURE SOUS RELAXATION (DIE SWELL)	56
4.2.3.1	EFFET DE LA FORME DE LA FILIERE SUR L'ENFLURE .	56
4.2.3.2	FILIERE PARALLELE	59
4.2.3.3	FILIERE DIVERGENTE	59
4.2.3.4	FILIERE CONVERGENTE	59
4.2.3.5	EFFET DU MATERIEL SUR L'ENFLURE DE LA PARAISON .	60
4.3	CONTROLE DE LA QUALITE	60
4.3.1	CONTROLE DE LA LONGUEUR DE LA PARAISON	61
4.3.2	PESEE DES PIECES EN AUTOMATIQUE	61
4.3.3	VERIFICATION DES EPAISSEURS	62
4.3.4	TEST D'ETANCHEITE	63

CHAPITRE 5 MOULES D'EXTRUSION SOUFFLAGE

5.1	CONFIGURATION DES MOULES D'EXTRUSION SOUFFLAGE . .	64
5.1.1	CONFIGURATION GENERALE	64
5.1.2	LA CANNE OU L'AIGUILLE DE GONFLAGE	65
5.1.2.1	SOUFFLAGE PAR LA FILIERE D'EXTRUSION	65
5.1.2.2	SOUFFLAGE PAR UNE BUSE FIXE OU MOBILE	66
5.1.2.3	SOUFFLAGE PAR UNE AIGUILLE	66
5.1.2.4	LES ZONES DE PINCEMENT	66
5.1.3	LES EVENTS	70
5.1.4	REFROIDISSEMENT DU MOULE	72
5.1.4.1	REFROIDISSEMENT PAR LE MOULE	72
5.1.4.2	REFROIDISSEMENT PAR L'INTERIEUR DE LA PIECE . .	73
5.1.4.3	REFROIDISSEMENT APRES LE DEMOULAGE	73
5.1.5	DECAROTTAGE ET FINITION DES PIECES	74
5.2.1.1	MOULES A SECTIONS MULTIPLES	77

5.2.1.2 MOULE AVEC PRE-GONFLAGE DE LA PARAISON 77
5.3 MATERIAUX POUR LA FABRICATION DES MOULES 80
5.3.1 CRITERES DE SELECTION 80
5.3.2 MOULE EN FER OU EN ACIER 81
5.3.3 MOULES EN METAUX NON FERREUX 81
5.3.3.1 ALUMINIUM ET SES ALLIAGES 81
5.3.3.2 CUIVRE ET SES ALLIAGES 81
5.3.3.3 ZINC 82
5.3.3.4 AUTRES TYPES D'ALLIAGES NON METALLIQUES 82
5.3.4 MOULE EN RESINE COULEE 82

CHAPÎTRE 6 MATÉRIAUX UTILISÉS POUR LE MOULAGE

6.1 NORMES GENERALES 83
6.2 LES DIVERS GRADES DE MATERIAUX 84
6.2.1 HDPE 84
6.2.2 LDPE 85
6.2.3 POLYPROPYLENE 86
6.2.4 PVC 92
6.2.5 PET 92
6.2.6 RESINES D'INGENIERIE 93
6.2.7 TPE 93

CHAPÎTRE 7 DESIGN

7.1 FORMES ET STANDARDS DE MOULAGE REGLES DE DESIGN . 95
7.1.1 Règles De Design 95
7.1.2 LA TAILLE ET LA COMPLEXITE DE LA FORME 95
7.1.3 LE TAUX D'ETIREMENT DE LA PARAISON 96
7.1.4 LES DETAILS DE DESIGN: 97
7.1.4.1 FILETS 97
7.1.4.2 INSERTS 97
7.1.4.3 COMPRESSION 98
7.2 IN-MOLD LABELING 98
7.2.0.1 AMELIORATION ESTHETIQUE 98
7.2.0.2 AMELIORATION DE L'ADHESION 100
7.2.0.3 REDUCTION DE POIDS 100
7.2.0.4 ECONOMIE AU NIVEAU DU PROCEDE 100
7.3 EXTRUSION SOUFFLAGE DES PRODUITS MULTICOUCHES . . 101
7.3.1 APPLICATIONS TYPES DES PRODUITS MULTICOUCHES . 103
7.3.2 VARIANTE DU PROCEDE DE COEXTRUSION 103
7.4 APPLICATIONS TYPES 103
7.4.0.1 RESERVOIRS A ESSENCE POUR AUTOMOBILES 104
7.4.0.2 GRANDES PIECES 104
7.4.0.3 PIECES A DOUBLE PAROIS 105
7.4.0.4 COMPOSANTES D'HABILLAGE AUTOMOBILE 105
7.4.0.5 COMPOSANTES ELECTRIQUES 106
7.4.0.6 PRODUITS RECREATIFS ET D'USAGE DOMESTIQUE . . . 106
7.4.0.7 CONTENANTS ET BOUTEILLES 106

CHAPÎTRE 8 BILAN TECHNIQUE

8.1 BILAN TECHNIQUE DU PROCEDE DE SOUFFLAGE 107
8.1.1 CARACTERISTIQUES DU PROCEDE ET DE SES VARIANTES 107
8.1.2 COMPARAISON ENTRE LES VARIANTES DU PROCEDE DE SOUFFLAGE 108
8.1.2.1 EXTRUSION SOUFFLAGE EN CONTINU 108
8.1.2.2 EXTRUSION SOUFFLAGE INTERMITENTE 108
8.1.2.3 INJECTION SOUFFLAGE 109
8.1.3 LA CAO/FAO ET L'EXTRUSION SOUFFLAGE 109
8.1.4 NOTES SUR LES PROCEDES DE SOUFFLAGE 110

Liste des figures

Figure 1: Schéma du procédé d'extrusion soufflage 7
Figure 2: Système de programmation de la paraison 10
Figure 3: Schéma du procédé d'injection soufflage 16
Figure 4: Contraintes de design typique au procédé d'injection soufflage.....17
Figure 5: Schéma du procédé de bi-orientation soufflage 20
Figure 6: Schéma d'un système de co-extrusion soufflage 22
Figure 7: Extrusion soufflage en continu: système en continu ..26
Figure 8: Extrusion soufflage en continu: système avec tête distributrice 27
Figure 9: Extrusion soufflage en continu: système de moules en navette ou sur carrousel 29
Figure 10: Extrusion soufflage:système "vis/piston" 31
Figure 11: Extrusion soufflage:système à cylindre accumulateur .32
Figure 12: Extrusion soufflage:système à tête accumulatrice 33
Figure 13: Vis de plastification 37
Figure 14: Schéma d'une tête d'équerre avec alimentation arrière 41
Figure 15: Schéma d'une tête d'équerre avec alimentation latérale 42
Figure 16: Types de filières, ...45
Figure 17: Programmation de la paraison, contrôle circonférenciel des épaisseurs.....55
Figure 18: Enflure de la paraison causée par la relaxation moléculaire 57
Figure 19: Divers types de filières 58
Figure 20: Schéma d'un moule type avec la zone de pincement 65a
Figure 21: Divers types de soudures et de pincements de la paraison.....67
Figure 22: Divers types d'évents 69
Figure 23: Mécanismes de décarottage automatique 71
Figure 24: Mécanisme permettant la finition automatique des goulots 75
Figure 25: Exemple de moule à sections amovibles 76
Figure 26: Exemple de pièce nécessitant l'utilisation de moules à tiroirs.....78
Figure 27: Exemple d'utilisation d'un moule avec des zones de compressions 99

TABLES

TABLE 1: Grille de correction des défauts d'extrusion soufflage..... 62

TABLE 2: Liste de quelques matériaux pour le moulage par soufflage..... 86-90

TABLE 3: Exemples de produits multicouches faits par soufflage..... 102

L'EXTRUSION SOUFFLAGE DES THERMOPLASTIQUES

Par: PIERRE LARIVIERE

TECHNIQUE DES PLASTIQUES PIERRE LARIVIERE INC.
110 Du Marché, Roxton Falls, QC J0H 1E0

Deuxième trimestre 1987

"Technique des Plastiques Pierre Larivière Inc."considère que les informations publiées dans ce livre sont exactes et précises, mais n'assume aucune responsabilité ou obligation vis-à-vis toutes conséquences que pourraient entraîner leur utilisation. A la connaissance de "Technique des Plastiques Pierre Larivière Inc." ce document n'usurpe aucun droit relatif à des brevets. C'est la responsabilité de l'utilisateur de faire les vérifications pour s'assurer que son produit ou sa technique respecte tous les droits de brevets qui pourraient s'appliquer.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

Le procédé d'extrusion soufflage et ses variantes sont, en terme de volume de résine utilisée, des techniques importantes de transformation des matières plastiques.

Malgré ce fait et bien que le soufflage soit employé depuis plusieurs années, l'information technique "complète" couvrant l'ensemble du procédé, demeure relativement rare.

Cette situation est peut-être due au fait que l'extrusion soufflage est souvent traitée comme une simple variable de l'extrusion conventionnelle.

Il faut aussi noter que le procédé de soufflage se segmente en variantes très spécialisées, qui sont chacune orientée vers des marchés ou des produits bien définis .

Dans ce contexte, le but de ce livre est de résumer les divers aspects relatifs à l'extrusion soufflage, de manière à présenter la technique sous une forme plus générale.

Sans prétendre être un ouvrage complet et approfondi, ce dossier se veut un guide et un outil de référence, présentant l'essentiel de la technique d'extrusion soufflage.

En résumant les principaux aspects de la technique d'extrusion soufflage, je souhaite que ma contribution, si minime soit-elle, sera utile à l'industrie des plastiques.

Pierre Larivière

CHAPITRE 2

PROCÉDÉ

2.1 DESCRIPTION GENERALE DU PROCEDE DE SOUFFLAGE

2.1.1 HISTORIQUE:

L'idée du moulage d'un corps creux par le soufflage d'un tube de plastique chauffé, remonte à la fin du XIX siècle. C'est en 1881, que les firmes Américaines: Novelty Co. et Celluloid Manufacturing Co, déposèrent une demande de brevet pour le procédé connu aujourd'hui sous le nom d'extrusion soufflage.

Les premiers essais techniques ne furent cependant réalisés qu'en 1937 avec des matériaux tels que l'acétate et le polystyrène.

C'est le polyéthylène à haute densité qui a contribué au développement du procédé d'extrusion soufflage. Bien que ce matériel servit au moulage de contenants médicaux durant la deuxième guerre, il fallut attendre la réduction des coûts du polyéthylène, au début des années 50, pour que l'extrusion soufflage connaisse un essort.

Le procédé de soufflage a eu une croissance importante et soutenue. Son principal champs d'application étant le secteur des bouteilles. Aujourd'hui, les facteurs contribuant au développement de la technique sont:

- Mise au point de résines d'ingénierie adaptées à la technique de soufflage;

- Développement d'équipements perfectionnés qui offrent un meilleur contrôle du procédé;

- Ouverture de nouveaux marchés à grands volumes, tels que ceux des bouteilles d'eau gazeuse et des réservoirs à essence d'automobile;

- Analyse plus rigoureuse des variables du procédé, particulièrement en ce qui a trait au contrôle et à la forme de la paraison;

- Disponibilité d'équipements permettant la co-extrusion multimatière.

2.1.2 PRINCIPE D'OPERATION:

Le soufflage est une technique automatisée, qui permet d'obtenir des cadences élevées et de faire des productions en grandes séries. A titre d'exemple, il existe sur le marché des équipements permettant des cycles de 6 à 7 secondes pour des pièces de un gallon. De même, des pièces aussi grandes que des barils de 45 gallons peuvent être moulées avec des cycles inférieurs à 2 minutes.

Le soufflage offre une assez grande liberté de design. Cette caractéristique est d'ailleurs accentuée par l'amélioration des techniques de moulage, les meilleurs contrôles sur les équipements et de nouveaux grades de thermoplastiques.

Le principe de base du procédé de soufflage est de produire une forme "tubulaire" qui est insérée dans un moule qui en pince les extrémités. Ce tube de plastique chaud, est ensuite gonflé par un jet d'air sous pression qui le force à épouser les contours intérieurs du moule.

Ce procédé de fabrication qui permet de produire des corps creux, est largement répandu dans le domaine des emballages, où il sert à produire des contenants, dont les dimensions vont de quelques onces à plus de 45 gallons.

Les techniques de soufflage se partagent en deux grandes familles:

- EXTRUSION SOUFFLAGE
- INJECTION SOUFFLAGE

Ces deux méthodes offrent à leur tour des variantes telles que la BI-ORIENTATION et le soufflage des MULTI-COUCHES (coextrusion).

De toutes ces techniques, l'extrusion soufflage est la plus ancienne et elle demeure la plus largement utilisée. C'est d'ailleurs elle qui fait l'objet de ce dossier.

2.1.3 LA TECHNIQUE D'EXTRUSION SOUFFLAGE

Cette technique de moulage des corps creux débute avec l'extrusion d'un tube de plastique chaud, appelé PARAISON. La paraison est ensuite placée au centre du moule ouvert, qui se referme en pinçant les extrémités du tube.

Une buse ou une aiguille de soufflage pénètre dans la paraison et y injecte de l'air comprimé. La pression gonfle la paraison chaude comme s'il s'agissait d'un ballon et lui fait épouser la forme intérieure du moule.

Au contact de la paroi froide du moule, le plastique se fige rapidement et la pièce durcie peut en être extraite.

En résumé, la séquence de moulage comprend les phases suivantes:
- Plastification de la matière dans l'extrudeuse;
- Extrusion de la paraison par la filière de l'extrudeuse. La taille et l'épaisseur de cette paraison étant adaptées à la pièce à produire;
- Insertion de la paraison au creux du moule, soit par extrusion directe ou au moyen d'un mécanisme de transfert qui saisit la paraison et la place dans un moule;
- Insertion de la buse de soufflage et injection de l'air à environ 100 psi;
- Refroidissement de la pièce, ouverture du moule et éjection du produit fini.

Selon la taille et le type de pièces à produire, il existe deux grandes catégories de machines à extrusion soufflage, qui se définissent ainsi:
- Système d'extrusion soufflage en CONTINU;

- Système d'extrusion soufflage INTERMITTENT.

2.1.4 EQUIPEMENTS DE MOULAGE

Qu'il s'agisse de la version extrusion soufflage en continu ou intermittente, les équipements comprennent les deux éléments suivants:

-L'unité de plastification et d'extrusion

-L'unité de moulage et de soufflage

2.1.4.1 Unité De Plastification Et D'extrusion -

Sa fonction est de recevoir la matière plastique, de la plastifier et de l'extruder à travers de la filière afin de produire une paraison.

Pour l'extrusion soufflage en continu, l'unité de plastification est similaire à celle utilisée en extrusion conventionnelle, mais la paraison est extrudée en continu.

Dans l'extrusion soufflage intermittente, la paraison n'est extrudée qu'au moment où elle doit être placée dans le moule. A cause de ce mode de fonctionnement discontinu, les unités d'extrusion utilisées sont souvent semblabes à celles employées pour l'injection des thermoplastiques.

2.1.4.2 Unité De Moulage Et De Soufflage -

Le rôle de ce type d'unité est de porter le moule et d'assurer la saisie de la paraison, le soufflage et l'éjection de la pièce moulée.

Certaines presses ne comportent qu'un seul moule, alors que d'autres peuvent en avoir plusieurs, montés sur des carrousels ou des navettes.

SCHEMA DU PROCEDE D'EXTRUSION SOUFFLAGE

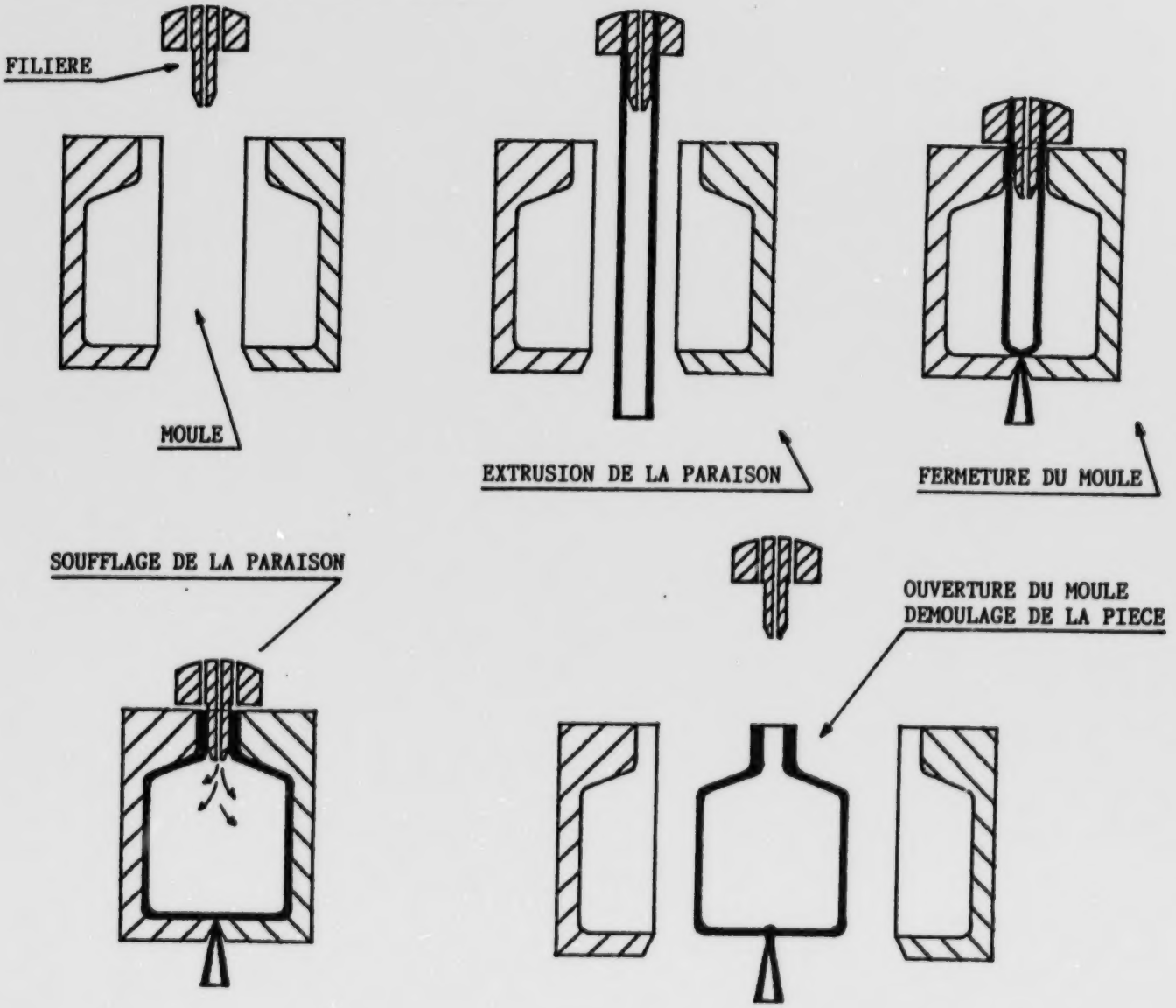


Figure 1

Dans l'extrusion en continu, la presse doit être conçue de façon à dégager la paraison entre chaque cycle, tandis que dans le soufflage intermittent, il est possible de laisser le moule stationnaire sous la tête d'extrusion.

2.1.5 MOULES POUR EXTRUSION SOUFFLAGE:

Les moules de soufflage sont souvent usinés ou coulés en aluminium, ou dans des alliages de cuivre. Le critère étant que la matière dont est fait le moule, ait un bonne conductibilité thermique de manière à réduire le temps de refroidissement du plastique moulé.

2.1.6 PINCEMENT (PINCH OFF):

La bordure de la cavité qui doit écraser la paraison et la souder pour faire l'étanchéité, est appelée "pincement" ou "pinch off". Cette zone doit aussi produire une ligne de découpe facilitant le décarottage de la pièce.

En général, ce pincement fait une bordure d'environ 0.010" de largeur qui se prolonge d'une bande d'appuie, inclinée à 30 degrés. Selon sa configuration, le pinch off influence la qualité et l'étanchéité de la soudure.

Compte tenu des pressions de fermeture et de l'impact causé par les chocs répétés à chaque fermeture du moule, la zone du pincement est souvent faite d'un alliage résistant bien à l'usure.

2.1.7 EVENTS:

Les moules doivent être munis d'évents pour assurer l'évacuation de l'air entre la paraison et la cavité, au moment du soufflage. Ces évents sont souvent situés dans le plan de joint, mais dans certains cas il doivent passer à travers la paroi.

2.1.8 REFROIDISSEMENT:

Un bon refroidissement du moule est essentiel pour assurer des cadences rapides. C'est un réseau de canalisation dans lequel circule un liquide réfrigérant, qui améliore l'échange thermique.

2.2 CONTROLE DES EPAISSEURS:

La section de la paraison est circulaire ou ovale, en fonction de la forme de la pièce à mouler.

Au soufflage, la paraison est étirée ce qui cause un amincissement de sa paroi. Le taux d'étirement (blow ratio) est le rapport entre le diamètre du moule et le diamètre de la paraison.

Selon le design du produit à mouler, le taux d'étirement peut varier dans une même pièce, causant une variation d'épaisseur dans la pièce finie.

Pour maintenir une certaine uniformité d'épaisseur, malgré les variations du taux d'étirement, il faut extruder une paraison dont l'épaisseur varie en fonction de l'étirement prévu.

Cet ajustement est fait en utilisant un système de poinçon/filière conique. En modifiant la hauteur du poinçon dans la filière, il est possible de changer l'espace annulaire poinçon/filière. Cette modification étant faite durant l'extrusion de la paraison, il en résulte une variation d'épaisseur.

C'est un programmeur de paraison qui permet d'effectuer ces modifications durant le cycle. La paraison ainsi produite présente des variations d'épaisseur qui compenseront la perte d'épaisseur causée par étirement au gonflage.

Pour certains designs la seule programmation longitudinale des épaisseurs n'est pas suffisante, il est nécessaire que la paraison ait des variations circonférentielles de ses épaisseurs. Ce profil est alors obtenu en ovalisant le poinçon. Bien que ce type de système soit généralement fixe, de récents développements permettent de le coupler à un programmateur de paraison.

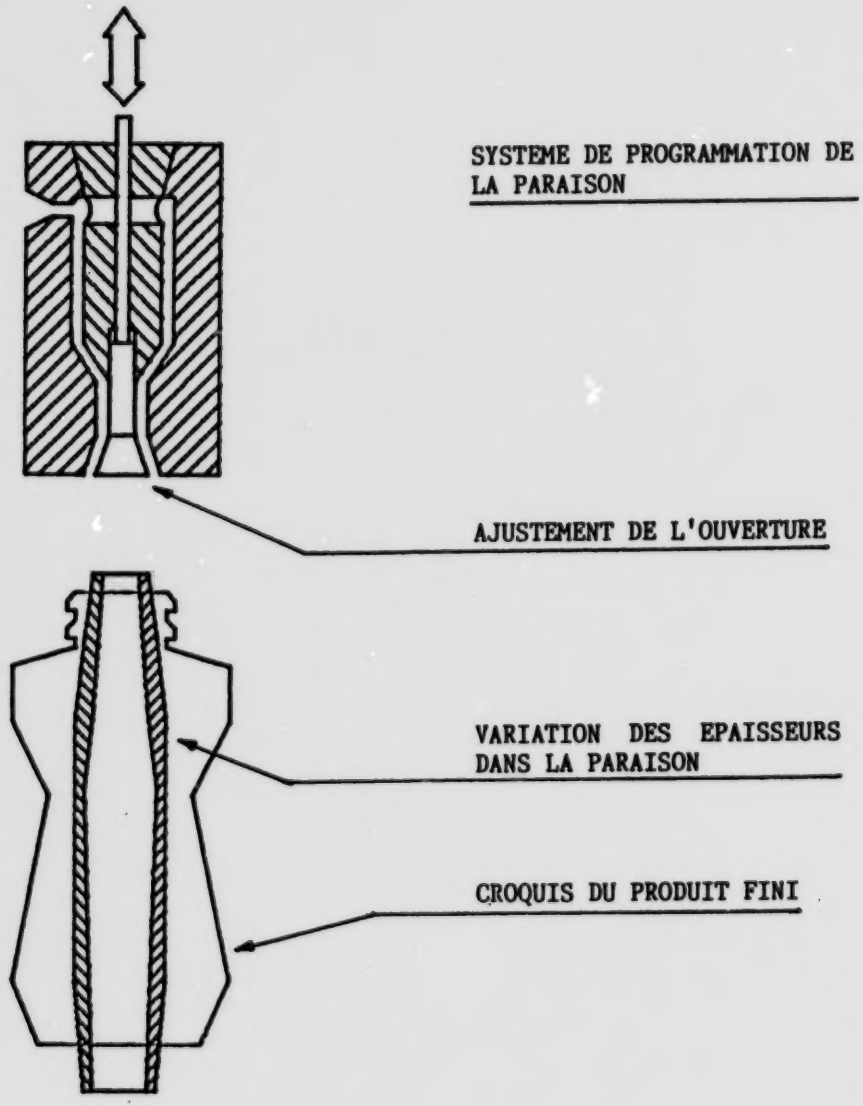

SYSTEME DE PROGRAMMATION DE LA PARAISON
AJUSTEMENT DE L'OUVERTURE
VARIATION DES EPAISSEURS DANS LA PARAISON
CROQUIS DU PRODUIT FINI

Figure 2

2.2.1 MATERIAUX POUR L'EXTRUSION SOUFFLAGE:

Théoriquement, l'extrusion soufflage peut se faire avec la majorité des thermoplastiques. Les contraintes étant que le matériel n'ait pas un fluage à chaud trop grand, afin d'éviter l'amincissement excessif de la paraison et qu'il permette un taux d'étirement suffisant.

Les polyoléfines et les PVC sont les deux grades de matériaux les plus largement utilisés pour le procédé d'extrusion soufflage. Cette situation est due à la facilité de moulage de ces matières et à leur bonne adaptation aux marchés traditionnels du soufflage, soient les contenants et les jouets.

Parmi les polyoléfines, le polyéthylène à haute densité (HDPE) occupe la première place. C'est d'ailleurs le matériel le plus utilisé pour tous les marchés couverts par le soufflage. Pour certaines situations exigeant des propriétés supérieures, le polypropylène est cependant utilisé au lieu du HDPE.

Le PVC demeure un matériel intéressant pour le moulage des contenants alimentaires et pour les boissons non carbonatées.

L'acceptation du PET (polytéréphtalate d'éthylène) pour la fabrication des contenants de boissons gazeuses ouvre un marché très large pour ce matériau. Il faut toutefois noter, que le moulage du PET est surtout fait par une variante du soufflage, soit l'injection soufflage avec bi-orientation.

Depuis quelques années, les fournisseurs de matières premières ont adapté plusieurs plastiques aux contraintes du soufflage, ouvrant ainsi la voie à de nombreuses applications nouvelles.

Parmi ces nouveaux grades, il faut noter les résines d'ingénierie telles que des polycarbonates et des nylons ainsi que des élastomères thermoplastiques.

2.3 DOMAINE D'APPLICATION DU PROCEDE D'EXTRUSION SOUFFLAGE

2.3.1 REGLES DE DESIGN

Le procédé de soufflage est adapté à la production de pièces creuses, celles-ci étant obtenues en gonflant un tube de plastique chaud contre la face interne d'un moule.

La principale contrainte dans la conception d'une pièce produite par soufflage est le taux d'étirement nécessaire pour forcer la paraison contre les surfaces du moule.

Les variations du taux d'étirement se traduisent par un amincissement local de la pièce, ce qui, à la limite, peut causer une perforation.

Pour pallier à ce problème on a recours à une technique de programmation de la paraison, qui consiste à modifier son épaisseur annulaire en fonction du taux d'étirement prévu pour chaque zone de la paraison. Cette variation d'épaisseur est produite au moment de l'extrusion de la paraison.

Une autre contrainte importante dans le design des pièces moulées par soufflage, est leur symétrie. En général, des pièces relativement symétriques sont plus faciles à mouler, dû à l'étirement radial "uniforme" de la paraison.

L'extrusion soufflage permet de reproduire des détails de design tels que les filets. Il faut toutefois noter que ceux-ci sont beaucoup plus faciles à obtenir lorsqu'ils sont sur une portion mâle; les filets en creux (ou femelle) doivent souvent être faits par le biais d'inserts.

L'extrusion soufflage permet de mouler des contenants ayant des poignées intégrées au design. De même, par compression locale de la paraison au niveau du plan de joint, il est possible de produire des oreilles d'ancrage, localisées le long de la pièce.

2.3.2 CHAMPS D'APPLICATION DE LA TECHNIQUE D'EXTRUSION SOUFFLAGE

Compte tenu de la nature et des contraintes spécifiques du procédé, celui-ci est particulièrement bien adapté pour la fabrication de contenants.

Règle générale, il s'agit de contenants de 5 gallons ou moins et ayant des filets extérieurs. Les matériaux les plus largement utilisés sont les polyéthylènes et les PVC.

La technique permet toutefois de produire des contenants de grandes dimensions ou de formes complexes. De même, la mise au point d'équipements pour la coextrusion permet le moulage de contenants rencontrant des normes d'imperméabilité et de résistance beaucoup plus sévères.

L'extrusion soufflage est aussi utilisée dans d'autres secteurs, tels que le moulage de jouets, d'articles décoratifs ou de composantes à double parois.

Actuellement, des techniques telles que l'injection soufflage et la bi-orientation élargissent beaucoup les horizons du procédé de soufflage. Il faut entre autre citer le cas du PET, employé pour le moulage de bouteilles pour les boissons gazeuses. Ce matériau moulé par injection soufflage, remplace rapidement et avantageusement les bouteilles de verre, ouvrant ainsi un tout nouveau marché pour les plastiques.

Il y a aussi l'adaptation des matériaux qui favorisent le développement du procédé de soufflage. Il faut citer le polycarbonate, désormais considéré pour le moulage de pièces d'habillage pour systèmes électroniques ou de bureautiques.

De même, la mise au point de certains thermoplastiques élastomères permet de produire des protecteurs de joints sur les voitures à traction avant. Cette dernière application démontre les avantages de la technologie lorsqu'elle met à contribution les nouveaux matériaux.

2.3.3 POTENTIEL DU PROCEDE

En permettant de faire des pièces plus grandes ou plus complexes et en offrant des grades de matériaux très performants, la technologie du soufflage se retrouve désormais dans des champs forts variés.

Malgré tout, le moulage des contenants demeure un domaine d'utilisation majeur pour la technique. Parmi les segments de ce marché susceptibles de connaître un développement important, il faut

citer:

-Les bouteilles de boisson gazeuse en PET;

- Les contenants alimentaires multi-couches;

- Les pintes d'huile à moteur;

- Les gallons de peinture;

- Les barils de 45 gallons

Au niveau des produits "non conventionnels" pour cette technique, certains fournisseurs de matières premières ont entrepris de véritables campagnes de promotion visant à élargir les applications du soufflage. Parmi celles-ci il faut noter:

- Les réservoirs à essence d'automobile;

- Les composantes d'habillage bureautique;

- Les déflecteurs d'air pour automobile;

- Les pièces à double parois;

- Les sièges et pièces en "coquilles";

- Des planches à voile monocoques.

Le développement de la technique, implique aussi celui des équipements. En ce sens des méthodes telles que la programmation de la paraison et la multiplicité des contrôles augmentent la qualité et les rendements.

La technique de la CAO/FAO est aussi de nature à favoriser le procédé de soufflage. L'introduction de cette technologie devra toutefois être largement intégrée car elle aura à tenir compte de paramètres aussi variés que: l'extrusion, la paraison, le soufflage et le refroidissement.

2.4 VARIANTES DU PROCEDE DE SOUFFLAGE

2.4.1 INJECTION SOUFFLAGE

L'injection soufflage est un procédé de moulage adapté à la production en grandes séries, de contenants de petites dimensions et aux formes rigoureusement contrôlées.

Cette technique comprend deux étapes: (1) le moulage d'une ébauche (preforme) qui est produite par injection thermoplastique; (2) le soufflage de l'ébauche, qui est insérée dans un moule creux.

Par rapport à l'extrusion soufflage, l'injection soufflage offre les avantages suivants:

- Elimination des lignes de soudure;
- Tolérances précises;
- Formage de détails complexes (goulots);
- Régularité des épaisseurs après soufflage.

Le procédé présente aussi quelques inconvénients:

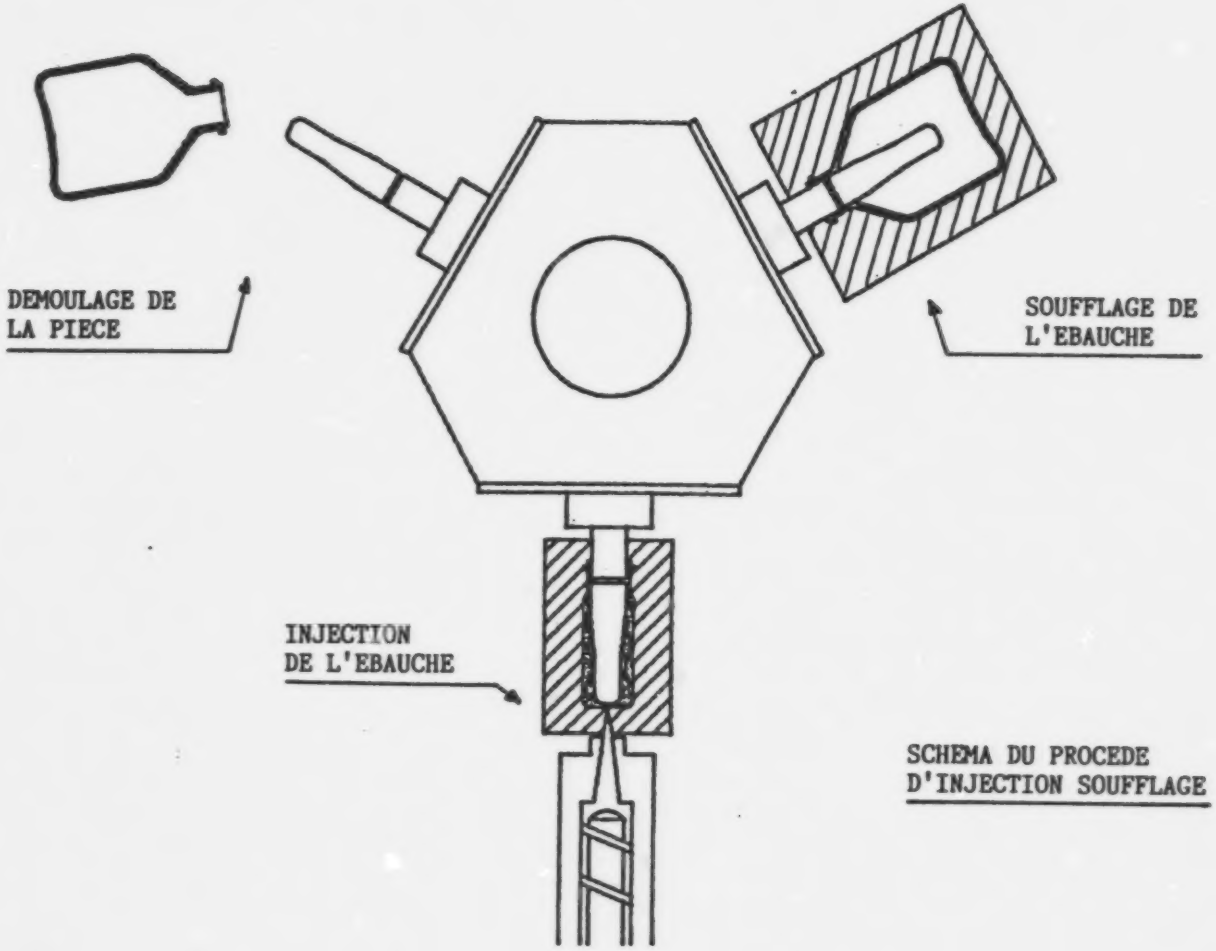
- Restriction dans les formes et dimensions;
- Incapable de mouler des poignées intégrées;
- Coût élevé d'outillage.

Cette technique est surtout répandue pour la fabrication de bouteilles de 16 ozs et moins.

L'injection de l'ébauche, faite en moule fermé, permet d'ajuster les épaisseurs en fonction du taux d'étirement prévu au soufflage. De même, l'injection permet de mouler certaines sections complexes, telles que les goulots sécuritaires.

C'est un procédé efficace et qui entraîne peu de perte de matière due au décarottage.

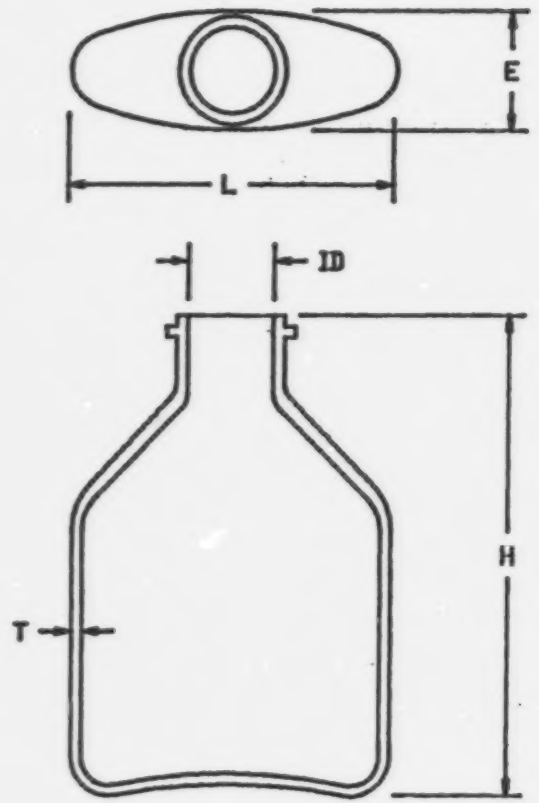
La majorité des équipements pour l'injection soufflage sont des systèmes multi-stations, comprenant un poste d'injection, un poste de soufflage et un de démoulage.



SCHEMA DU PROCEDE
D'INJECTION SOUFFLAGE

Figure 3

CONTRAINTES DE DESIGN TYPIQUES AU PROCEDE D'INJECTION SOUFFLAGE



PIECES TYPES...

CONTENANT ROND... 1 cc à 32 oz.
CONTENANT OVALE.. 2 cc à 16 oz.

CONTRAINTES DE FORME...

$$\frac{H}{ID} = 13/1 \text{ max.}$$

$$\frac{L}{E} = 2/1 \text{ max.}$$

$$\frac{L}{ID} = 3/1 \text{ max.}$$

Figure 4

Parmi les variantes de l'extrusion soufflage, il en est une qui se situe à la limite entre l'extrusion et l'injection soufflage.

Cette technique "hybride", qui est utilisée pour le moulage de bouteilles, fonctionne selon la séquence suivante:

1) Dans un premier temps, une cavité pour moulage par injection est amenée en contact avec la filière d'extrusion. Cette cavité correspond au goulot de la pièce à mouler.

2) Le goulot est injecté. La cavité est alors éloignée de la filière d'extrusion, dans ce mouvement de recul, une paraison se trouve extrudée entre la filière et la cavité. La variation de la vitesse de déplacement de la cavité permet de contrôler l'épaisseur de la paraison.

3) Dès que la paraison atteint la longueur requise, les deux coquilles du moule de soufflage sont refermées. Le haut de la paraison demeure coincé dans la cavité d'injection tandis que le bas est pincé par les sections du moule de gonflage.

4) La paraison est alors gonflée et la pièce est éjectée après son refroidissement.

Selon les promoteurs de cette méthode de moulage, ses avantages seraient au niveau des coûts d'outillage, moins élevés en rapport à ceux de l'injection soufflage conventionnel.

2.4.3 ETIRAGE ET SOUFFLAGE (BI-ORIENTATION):

Cette technique consiste à étirer la paraison ou l'ébauche le long de son axe longitudinal avant qu'elle soit étirée radialement par soufflage. L'orientation bi-axiale qui en résulte, augmente les propriétés structurales, la résistance à l'impact et l'imperméabilité aux gaz; ainsi que la clareté du produit moulé.

Cette méthode est mieux adaptée aux matériaux amorphes et le plastique le plus largement utilisé est le PET, pour la fabrication des bouteilles de boisson gazeuse.

Les températures et taux d'étirement de l'ébauche, varient selon le type de matériel:

TYPE DE MATERIEL	TEMPERATURE DE FUSION	TEMPERATURE D'ETIREMENT	TAUX D'ETIREMENT
PET	280 C	107 C	16/1
PVC	180 C	120 C	7/1
PP	240 C	160 C	6/1

La bi-orientation est adaptée à l'injection soufflage et elle est faite en séquence continue ou discontinue.

Dans la technique en continue, l'ébauche est moulée, étirée et soufflée sur une même machine, conçue pour réaliser toutes ces opérations en séquence. Idéale pour les matériaux sensibles à la dégradation thermique, la méthode est cependant plus délicate et exige des équipements complexes.

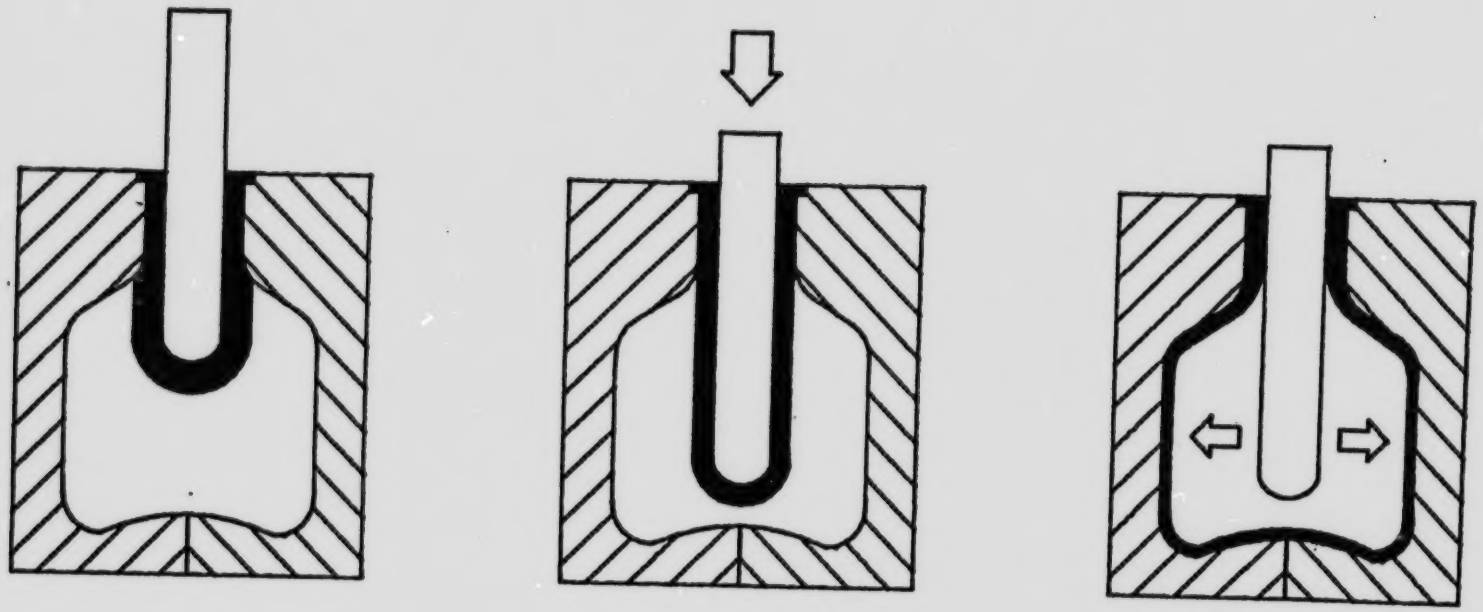
Dans le procédé discontinu, les ébauches sont moulées à l'avance et laissées à refroidir. L'étirage et le soufflage étant fait plus tard, sur un équipement spécialisé. Cette technique permet d'optimiser les cadences en dissociant les étapes d'injection et de soufflage des ébauches.

Les contraintes de la bi-orientation sont les mêmes que celle de l'injection soufflage et le procédé est surtout adapté aux petits contenants de 2 litres et moins.

2.4.4 COEXTRUSION SOUFFLAGE:

Pour certaines applications telles que des contenants alimentaires, un seul type de plastique ne peut rencontrer toutes les exigences mécaniques et physiques requises. La solution consiste alors à produire une pièce superposant plusieurs couches de plastiques différents, chacun remplissant une fonction spécifique.

SCHEMA DU PROCEDE DE BI-ORIENTATION SOUFFLAGE



EBAUCHE PLACEE DANS LE MOULE

ETIRAGE DE L'EBAUCHE

SOUFFLAGE DE L'EBAUCHE

Figure 5

Un exemple type prenant avantage de cette technique est celui des contenants alimentaires faits d'une séquence PP/adhésif/EVOH/adhésif/PP. Cette paroi multi-couches ayant une bonne imperméabilité aux gaz et permettant un remplissage à chaud tout en étant faite de matériaux relativement économiques.

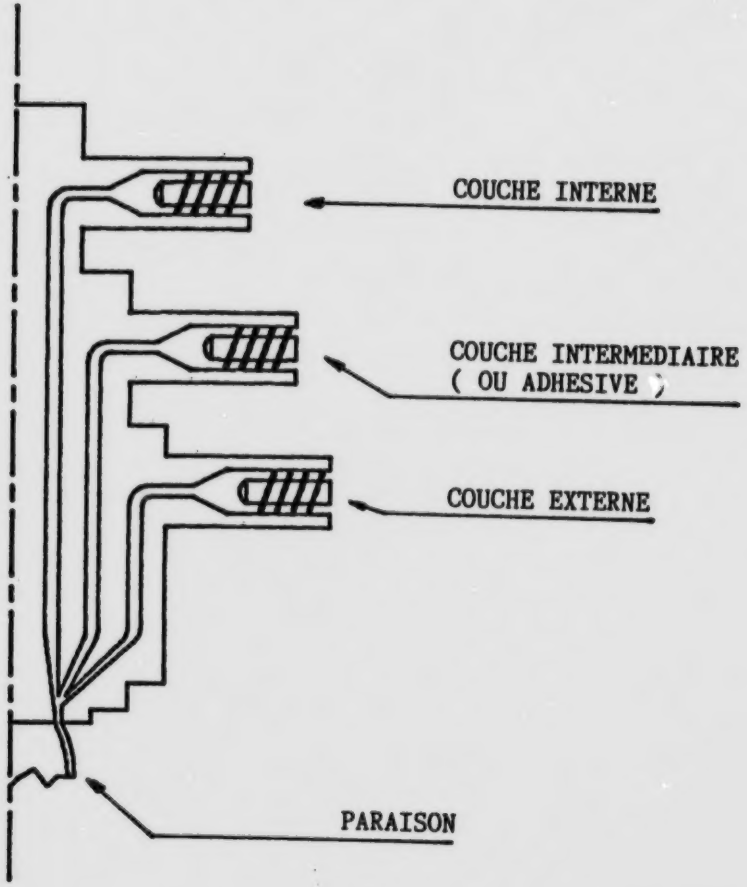
Des séquences HDPE/nylon/HDPE sont aussi employées pour la fabrication de réservoirs industriels, afin de joindre économie, imperméabilité aux gaz et résistance structurale.

En règle générale, la coextrusion comprend 3 à 5 couches distinctes, bien que certains équipements permettent des parois ayant 6 couches. La sixième étant utilisée pour passer la matière regranulée.

L'extrusion multi couches rend difficile la production simultanée de plusieurs paraisons. Il résulte que les presses à carrousel sont mieux adaptées mais il faut compter avec un taux de pertes en regranulage sensiblement plus élevé.

Bien que les systèmes multi-couches soient souvent adaptés au procédé d'extrusion soufflage, l'injection soufflage permet aussi de prendre avantage de ce concept.

La technique de co-injection soufflage étant mise au point pour la fabrication de bouteilles d'eau gazeuse moulées en PET. Elle utilise alors un système à trois couches, dans lequel la couche du centre améliore la rétention du gaz carbonique.



SCHEMA D'UN SYSTEME DE CO-EXTRUSION SOUFFLAGE

Figure 6

CHAPITRE 3

EQUIPEMENTS

3.1 DIVERS SYSTEMES D'EXTRUSION SOUFFLAGE

3.1.1 TYPES ET CATEGORIES

L'extrusion soufflage est un procédé souvent conçu en fonction d'un produit déterminé. Les fortes cadences imposées pour garder les produits compétitifs ainsi que les contraintes spécifiques aux matériaux, aux applications et aux designs font en sorte qu'il existe une large gamme d'équipements répondant aux exigences du marché.

A la base du procédé d'extrusion soufflage, il y a deux techniques principales:

- L'extrusion soufflage en continu;

- L'extrusion soufflage intermittent.

Un des principaux facteurs régissant l'utilisation de l'une ou l'autre des techniques est la taille de la pièce.

Pour les petites pièces on a souvent recours au soufflage en continu alors que les grandes pièces sont plutôt produites par le procédé d'extrusion soufflage "intermittent".

L'extrusion soufflage en continu est une technique par laquelle la paraison est produite sans arrêt, (en continu), tandis que dans l'extrusion soufflage intermittent, la paraison n'est produite qu'au moment de son insertion au creux du moule.

Au delà des caractéristiques "continu" et "intermittent", les catégories de procédé d'extrusion soufflage comprennent des variantes telles que la multiplicité des moules et/ou des têtes d'extrusion, de même que des caractéristiques particulières au niveau du mode

d'extrusion de la paraison.

3.1.2 EXTRUSION SOUFFLAGE EN CONTINU

Dans cette technique, la paraison est extrudée en continu. La séquence de moulage doit donc être balancée de manière à ce que le soufflage et le refroidissement d'une pièce se fassent pendant qu'une nouvelle paraison est extrudée.

Ceci exige qu'un mécanisme de transfert saisisse la paraison, la coupe, la dégage de la filière et la place dans le moule. En libérant ainsi la filière l'extrusion peut ainsi continuer sans interruption.

Dans certains cas, au lieu d'un mécanisme de transfert c'est le moule monté sur une navette ou un carrousel qui saisit la paraison et la dégage de la filière.

L'extrusion soufflage en continu est adaptée aux petities pièces de 1 gallon ou moins. Cependant, certains mouleurs arrivent à produire des pièces ayant jusqu'à 2.5 gallons.

La raison empêchant le moulage de pièces plus grosses par extrusion soufflage est le fait qu'une paraison trop grosse et trop lourde s'étire sous son propre poids, ce qui l'amincit près du col de la filière.

L'extrusion soufflage en continu est utilisée pour le moulage en continu de matières sensibles à la dégradation thermique car cette méthode réduit au minimum le temps d'attente de la matière dans la tête d'extrusion.

Le soufflage en continu s'adapte bien aux machines portant plusieurs moules. Ceux-ci sont alors placés en batteries ou sur un carrousel, ce qui augmente la productivité.

Il est aussi fréquent de voir des machines à extrusion continue produisant simultanement plusieurs paraisons qui sont traitées par des presses "multimoules".

3.1.3 EXTRUSION CONTINUE "EN SAUCISSON"

Une première configuration d'extrusion continue consiste à monter plusieurs moules sur un carrousel. Durant la rotation du système, chaque moule capte une section de la paraison, l'enferme au creux de la cavité et la gonfle. Toutes les pièces se trouvent ainsi solidaires d'une sorte de long saucisson.

Cette méthode offre des cadences élevées et s'adapte bien aux matériaux sensibles à la dégradation thermique; le temps de résidence dans l'extrudeuse étant limité au minimum.

Par contre, cette technique, bien qu'elle permette la programmation de la paraison ne peut être employée que pour la production de pièces identiques.

3.1.4 EXTRUSION CONTINUE AVEC TETE DISTRIBUTRICE

L'extrusion par tête distributrice est une autre variante du soufflage en continu. Dans cette technique, la matière plastifiée alimente une tête distributrice qui la répartit vers plusieurs têtes d'extrusion.

En plus d'offrir une cadence très élevée, cette méthode permet de produire simultanément plusieurs produits différents.

La technique est cependant plus coûteuse que la précédente, plus difficile de calibration et cause un plus fort risque de dégradation des matériaux sensibles à la chaleur.

3.1.5 EXTRUSION CONTINUE AVEC MOULE SUR NAVETTE

Dans le soufflage en continu avec moule sur navette, la paraison doit être coupée et dégagée de la tête d'extrusion. Cette opération est nécessaire afin de ne pas interférer avec l'extrusion de la paraison suivante.

Il peut s'agir d'un ou de plusieurs moules mobiles qui captent tour à tour la paraison, ou d'un système de transfert de la paraison seule.

EXTRUSION SOUFFLAGE EN CONTINU

SYSTEME EN "SAUCISSON"

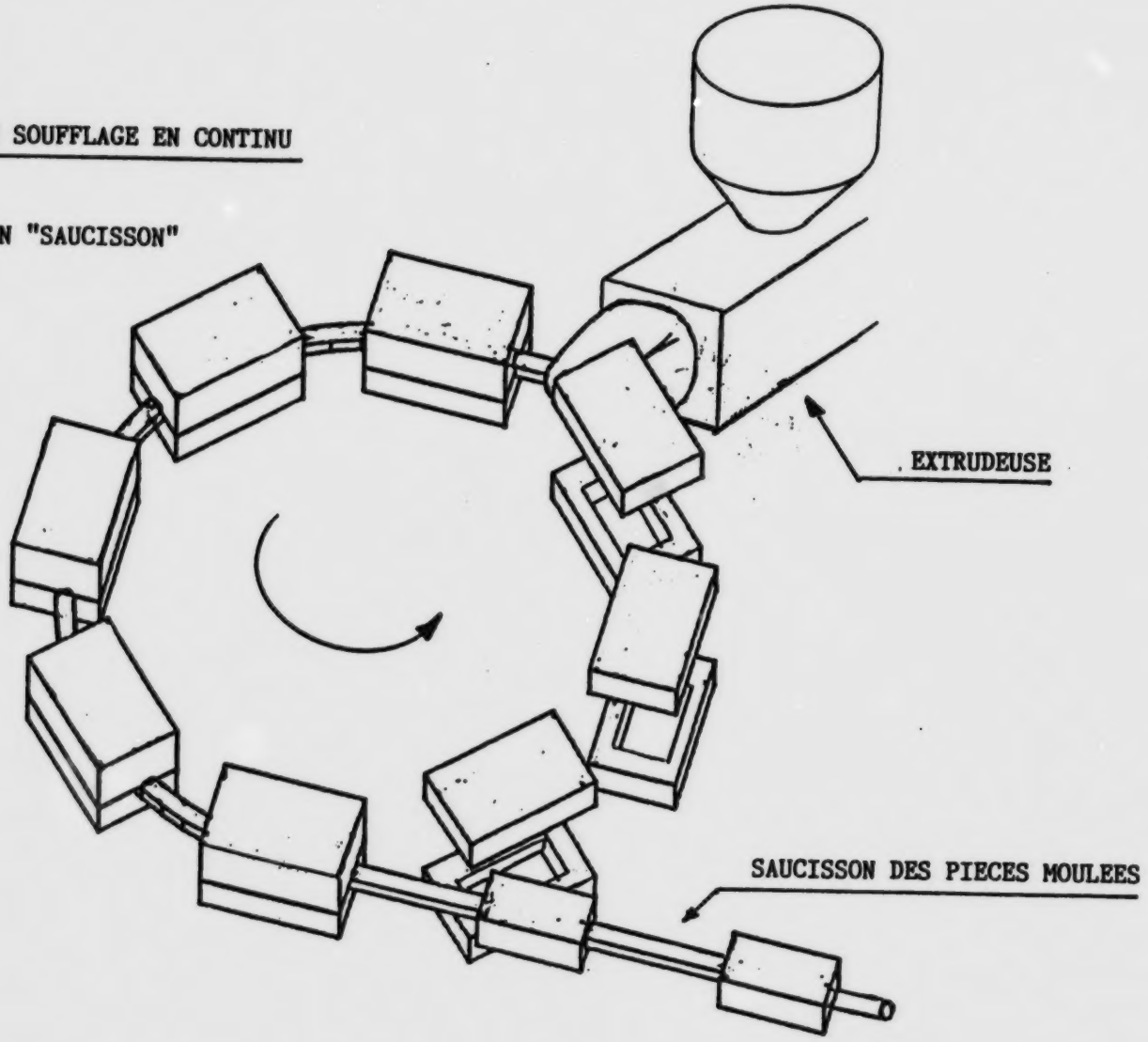


Figure 7

EXTRUSION SOUFFLAGE EN CONTINU

SYSTEME AVEC TETE DISTRIBUTRICE

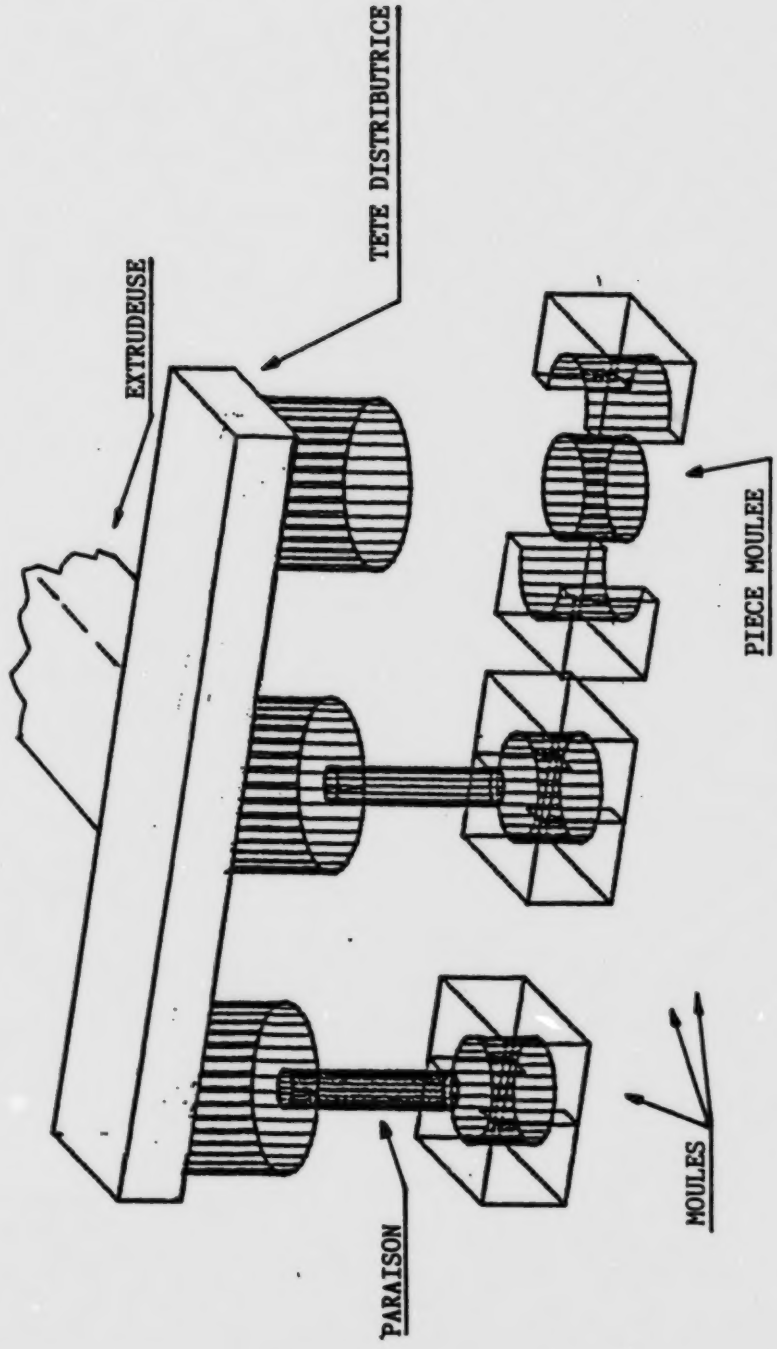


Figure 8

Cette technique offre les avantages inhérents à l'extrusion continue, au niveau de la faible dégradation thermique et de la haute

productivité. Il faut toutefois compter avec une plus grande difficulté pour calibrer le débit de l'extrudeuse avec le taux de refroidissement des pièces. Un temps d'attente trop long risquant une déformation et un allongement de la paraison.

Au lieu de navettes, les moules peuvent être montés sur un carrousel qui alimente continuellement la tête extrudeuse.

3.1.6 EXTRUSION SOUFFLAGE "INTERMITTENT":

Cette variante du procédé de soufflage consiste à produire la paraison "sur demande", soit dès que le moule est prêt à la recevoir. Pour y arriver, la résine chaude est accumulée dans une chambre de transfert, d'où elle sera extrudée.

Bien que ce système soit plus délicat à utiliser avec des matières facilement dégradables, il présente deux avantages importants:

- De forts volumes peuvent être extrudés rapidement. De cette façon, la paraison n'a pas le temps d'amincir sous l'effet de son propre poids.

- Il n'est pas nécessaire que la presse soit munie d'un système de transfert dégageant la paraison afin de permettre l'extrusion de la paraison suivante.

Il y a trois systèmes d'extrusion soufflage intermittent, soient:

- SYSTEME PISTON/VIS;
- SYSTEME A CYLINDRE ACCUMULATEUR;
- SYSTEME A TETE ACCUMULATRICE.

Chacun d'eux pouvant extrudé un seul ou une batterie de paraisons, simultanément.

EXTRUSION SOUFFLAGE EN CONTINU

SYSTEME DE MOULES EN NAVETTE OU SUR CARROUSEL

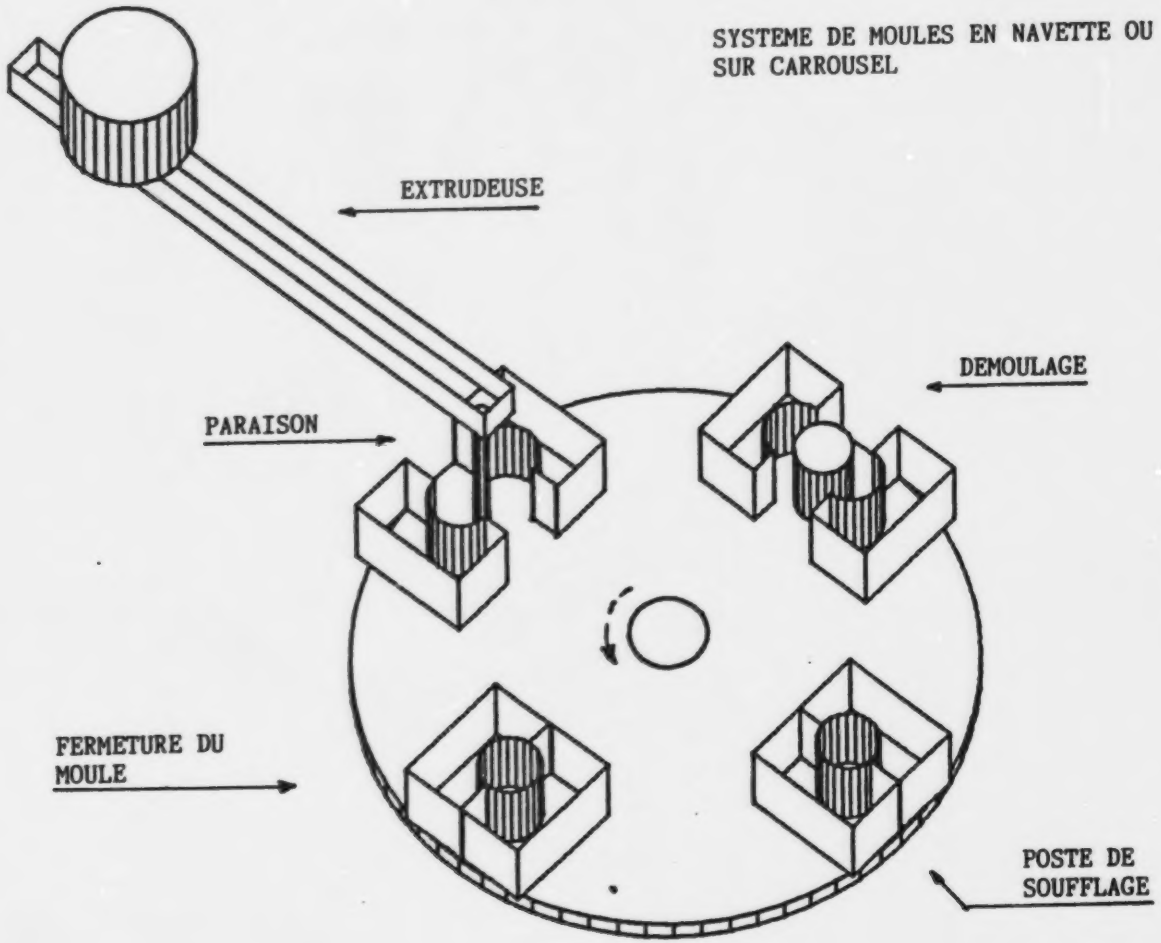


Figure 9

3.1.6.1 SYSTEME PISTON/VIS: -

Le principe piston/vis est similaire à celui utilisé sur les presses à injection. Une vis plastifie la matière et l'accumule à l'avant du fourreau. Au moment de la formation de la paraison, la vis devient un piston et extrude la résine à travers la filière. Ce type d'équipement est utilisé sur des machines relativement petites, soit pour des extrusions n'excédant pas 5 lbs.

3.1.6.2 SYSTEME CYLINDRE ACCUMULATEUR: -

Sur les machines à "cylindre accumulateur", une vis plastifie continuellement la matière qui est accumulée dans un cylindre de transfert. C'est un piston fermant le fond du cylindre qui force la pâte vers la filière, pour former la paraison.

Le défaut de ce système est que la matière plastifiée et accumulée en premier n'est extrudée qu'en dernier (first in / last out). Ce qui cause une "non uniformité" du coulis et un risque de dégradation de la matière.

Les machines du type "cylindre accumulateur" permettent la production de paraisons allant de 5 à 50 lbs par cycle.

3.1.6.3 SYSTEME A TETE ACCUMULATRICE: -

Le troisième concept, soit celui de la tête accumulatrice n'impose pas les défauts du précédent. La chambre de transfert étant conçue de façon à permettre une accumulation du type premier entré / premier sorti. (first in / first out).

La tête accumulatrice emmagasine la pâte sous une configuration sensiblement semblable à la paraison qui sera extrudée. Cette technique nécessite que le centre de la chambre de transfert soit constitué d'un tube forçant le plastique à s'y accumuler tout autour.

Ce système a pour inconvénient de créer une ligne de soudure le long de la parasion. Bien que souvent mineur, le problème peut être plus ou moins contrôlé par le design de la tête accumulatrice. Certains modèles divisant l'entrée de la matière et forçant son

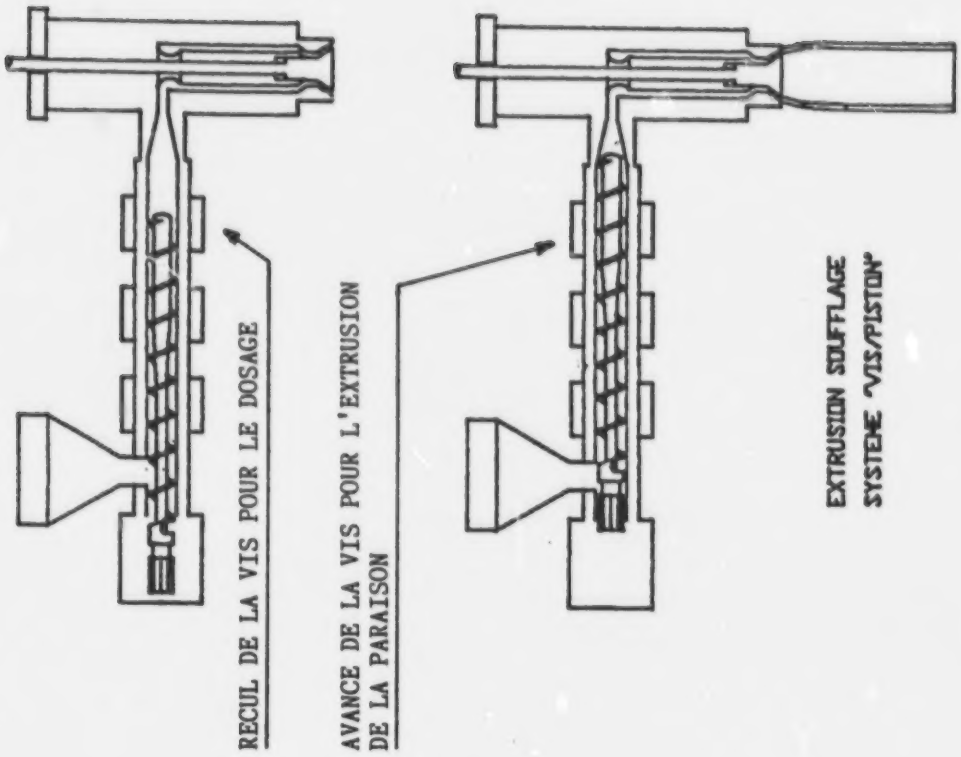

RECUL DE LA VIS POUR LE DOSAGE
AVANCE DE LA VIS POUR L'EXTRUSION DE LA PARAISON
EXTRUSION SOUFFLAGE
SYSTEME "VIS/PISTON"

Figure 10

EXTRUSION SOUFFLAGE

SYSTEME A CYLINDRE ACCUMULATEUR

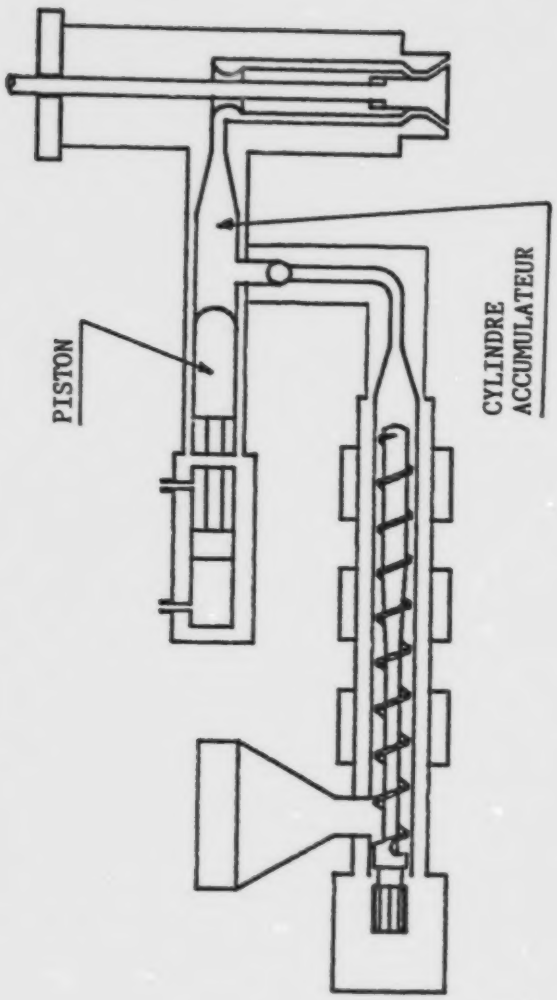


Figure 11

EXTRUSION SOUFFLAGE

SYSTEME A TETE ACCUMULATRICE

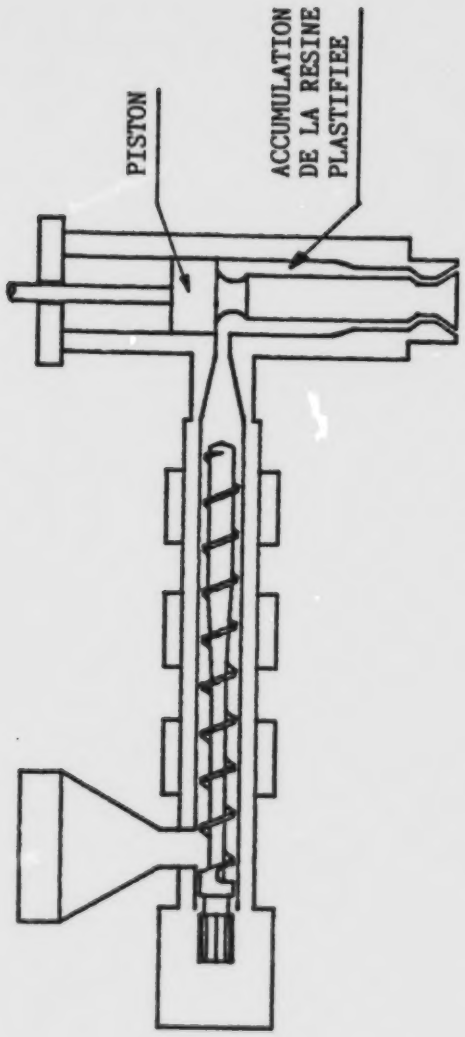


Figure 12

réaménagement avec des jointages décalés.

Le principe de la tête accumulatrice est de plus en plus utilisé. Ce type de machine permettant des cycles jusqu'à 300 lbs, avec un minimum de dégradation de la matière.

3.2 UNITE DE PLASTIFICATION ET D'EXTRUSION

3.2.1 UNITE DE PLASTIFICATION

La qualité des pièces produites par extrusion soufflage est largement influencée par les propriétés rhéologiques et dimensionnelles de la paraison. Pour que les produits moulés maintiennent une qualité standard, il importe donc que les paraisons soient rigoureusement identiques d'un cycle à l'autre.

Dans ces conditions, l'unité de plastification qui assure le chauffage et la "fluidité" de la matière plastique, joue un rôle très important.

Dans le procédé d'extrusion soufflage, l'unité de plastification doit permettre un contrôle très serré des conditions du plastique chaud. Comme la matière doit subir deux opérations distinctes: l'extrusion et le soufflage, il en résulte un rétrécissement de la plage des propriétés physiques rendant la résine compatible à subir ces deux phases.

Qu'il s'agisse d'extrusion soufflage en continu ou intermittent, la fonction "plastification" est assurée par l'action combinée de la vis et des éléments chauffants.

Comme dans tous les systèmes de plastification par vis, c'est l'effet de cisaillement obtenu par la vis en rotation qui fournit la majeure partie de l'apport calorifique nécessaire à la plastification du matériel.

En général, l'unité de plastification est montée à l'horizontale et elle alimente la filière par le biais d'une tête d'équerre. Il y a des unités ayant la vis placée à la verticale. Ce design assez encombrant, est toutefois moins utilisé.

3.2.2 LE FOURREAU ET LES ELEMENTS CHAUFFANTS

Le fourreau est muni d'éléments chauffants qui complètent l'apport calorifique nécessaire pour la plastification de la matière.

Ces bandes chauffantes sont réparties sur 3 à 5 zones, qui sont contrôlées indépendamment. La température augmentant progressivement entre l'entrée du matériel dans la vis, jusqu'à sa sortie à la filière.

Le fourreau peut être muni d'un système de refroidissement, qui est généralement localisé dans la zone d'alimentation.

3.2.3 LA VIS

Le design de la vis est un des éléments ayant le plus d'influence sur la qualité et l'uniformité de la plastification de la matière.

En plus de son design et de sa configuration, on caractérise la vis par le rapport entre sa longueur et son diamètre. Il s'agit du ratio L/D, qui sur la plupart des équipements varie de 20 à 25. Ce ratio étant fixé en tenant compte de variables telles que:

- L'uniformité de la plastification;
- le temps de résidence dans le fourreau;
- la dégradation de la matière par surchauffe.

Il existe plusieurs types de vis pour la plastification, les principaux sont:

- Monovis standard;
- monovis à palier de décompression;
- système "powder feed";
- double vis.

Les unités de plastification utilisant un piston à la place d'une vis ne se rencontrent que très rarement. Ils sont limités à de petites unités bas de gamme et peu performantes.

3.2.3.1 MONOVIS STANDARD -

Ce type de vis est le plus répandu, tant dans les systèmes de moulage par soufflage que dans ceux de moulage par extrusion ou injection.

Il s'agit d'une vis simple, dont le diamètre majeur est uniforme et qui a un pas constant. Sa particularité est d'avoir une variation dans le diamètre mineur des filets.

Cette variation de la profondeur du filet se répartit sur trois zones: alimentation, compression et dosage.

1- La zone d'alimentation, dont le filet est uniforme et profond, reçoit la matière plastique et en amorce la plastification.

2- La deuxième section, dite de compression, a un diamètre mineur qui augmente progressivement. Cette configuration comprime le plastique et force sa plastification.

3- La zone de dosage a un diamètre mineur uniforme et une faible profondeur de filets. Elle complète la plastification et uniformise le "coulis" de matière, avant son extrusion. L'homogénéité et la qualité de la plastification peuvent, au besoin, être améliorées par l'addition d'éléments mélangeurs. Ceux-ci sont montés dans la zone de dosage où ils agissent comme des mélangeurs statiques.

En plus de forcer le mélange et la plastification, ces mélangeurs limitent le passage des granules non fondues, ce qui améliore l'uniformité du coulis.

Sur certaines vis, la fonction "mélange" est améliorée par la formation d'un double filet dans la zone de compression. Plusieurs modèles sont possibles, ils sont en général faits d'un double filet, agissant à la fois comme mélangeur et filtre à granules.

3.2.3.2 MONOVIS A PALIER DE DECOMPRESSION -

Théoriquement, les vis à palier de décompression sont utilisées pour les matières formant des volatiles durant leur plastification.

VIS DE PLASTIFICATION

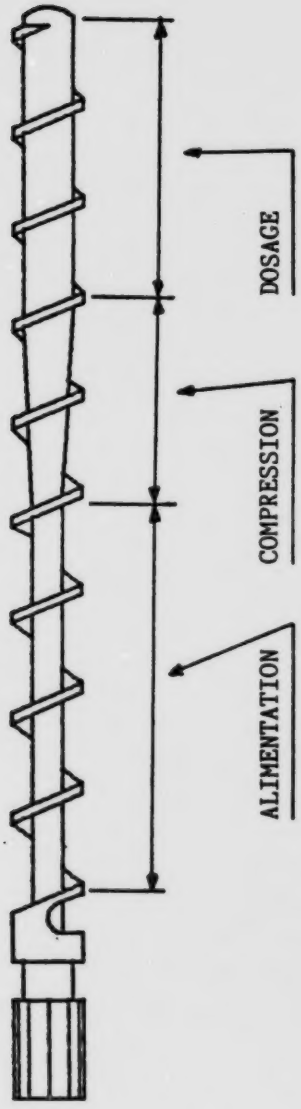


Figure 13

La zone de décompression consiste en une brusque réduction du diamètre mineur de la vis, ce qui cause la chute de pression dans la matière.

Il apparaît que ce design de vis permette aussi d'améliorer le mélange de la résine en forçant un réaménagement du lit de matières.

Cette caractéristique est mise à profit sur certains équipements d'extrusion soufflage, dans le but d'améliorer l'uniformité du coulis.

3.2.3.3 "POWDER FEED" -

La granulométrie et la compaction des granules de plastiques sont des facteurs qui affectent le taux de plastification. Le système "powder feed" est un design de vis et de fourreau qui permet d'agir sur ces facteurs.

Dans ce concept, la section arrière du fourreau, (l'alimentation), est rainurée horizontalement par des cannelures rectangulaires, dont la profondeur diminue progressivement vers l'avant. Cette section est aussi d'un diamètre légèrement supérieur au reste du fourreau.

Ce profil permet une "surcharge" de la zone d'alimentation. L'action combinée des cannelures et de la surcharge de matière comprime la matière en un bouchon compact et relativement homogène.

Ce "bloc" de résine permet d'atteindre une meilleure homogénéité du coulis.

Dans ce type de "power feed", la vis n'a pas besoin de zone de compression.

3.2.3.4 DOUBLE VIS -

L'utilisation d'une double vis parallèle est relativement récente dans le domaine de l'extrusion soufflage.

Déjà employée dans l'extrusion conventionnelle, la double vis permet de maintenir des températures de plastification plus basses. Cet avantage est particulièrement intéressant pour le moulage de matières sensibles à la dégradation thermique.

La double vis permet également un plus fort débit que la vis simple et requiert relativement moins d'énergie.

Enfin, la double vis peut donner un coulis plus homogène, réduisant ainsi les variations dans la qualité des pièces produites.

Les systèmes à double vis sont cependant plus coûteux et leur utilisation est encore limitée.

3.2.4 TETES D'EQUERRE

Le coulis de plastique chaud qui est poussé par la vis horizontale, doit être dévié vers la filière d'extrusion tout en étant distribué uniformément autour du poinçon de la filière. Ces fonctions sont assurées par la tête d'équerre.

Il y a deux principaux types de têtes d'équerre, qui se subdivisent en plusieurs variantes:

- Alimentation arrière;
- Alimentation latérale.

La configuration de la tête d'équerre influence beaucoup la qualité de la pièce. Une tête d'équerre inadéquate pouvant causer des problèmes tels que:

- Mauvaise soudure de la paraison;
- Paraison non uniforme en épaisseur;
- Torsion et voilage de la paraison;
- Variation de la température de la matière.

3.2.4.1 TETE D'EQUERRE AVEC ALIMENTATION ARRIERE -

Cette configuration se retrouve à la fois sur des machines ayant l'extrudeuse horizontale de même que sur les équipements à extrudeuse verticale. A cause des limitations qu'il présente, ce type de tête d'équerre est relativement peu utilisé.

Dans ce design, le plastique est alimenté dans le haut du poinçon, derrière son mécanisme de retenu.

Pour former la paraison, le coulis doit franchir le réseau des ailettes retenant le poinçon à la tête. Cette situation, en plus d'exiger un profil d'ailettes limitant les turbulences et les mauvaises soudures, rend le contrôle du coulis très difficile à régler.

3.2.4.2 ALIMENTATION LATERALE -

Dans ce modèle de tête d'équerre, le coulis est alimenté par le côté du poinçon et sous son pont de retenu (réseau d'ailettes).

Le flot de plastique ne rencontre théoriquement aucun obstacle avant d'atteindre l'orifice d'extrusion.

En plus d'éliminer les problèmes causés par le pont retenant la torpille, cette configuration facilite le contrôle mécanique de l'ouverture entre le poinçon et la filière, permettant la programmation de la paraison.

Le principal inconvénient de ce type de tête d'équerre, est celui de la soudure qui se fait derrière l'alimentation. Le flot de matière chaude devant être orienté de manière à minimiser les mauvaises soudures à la jonction du matériel.

Diverses solutions sont mises en oeuvre pour pallier à ce problème, généralement elles se situent au niveau du canal d'alimentation, qui entoure le poinçon.

Celui-ci peut être cylindrique ou avoir une configuration plus ou moins courbée (type en forme de coeur).

D'UNE TETE D'EQUERRE AVEC ALIMENTATION ARRIERE

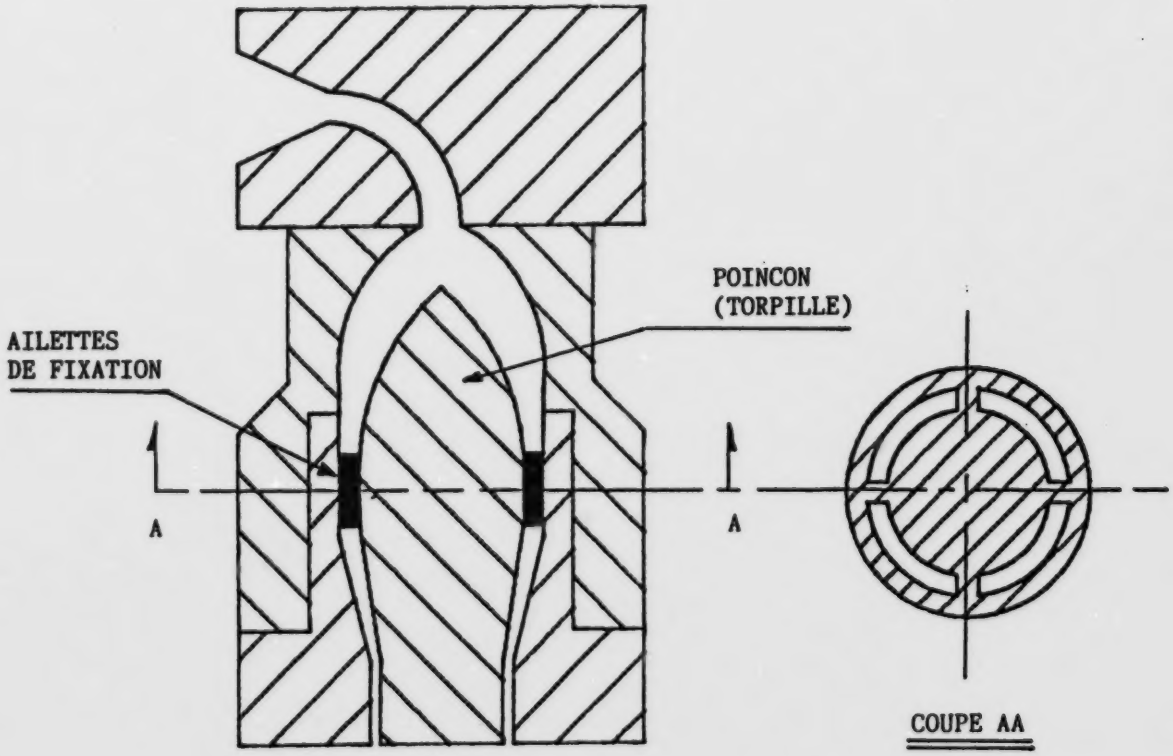
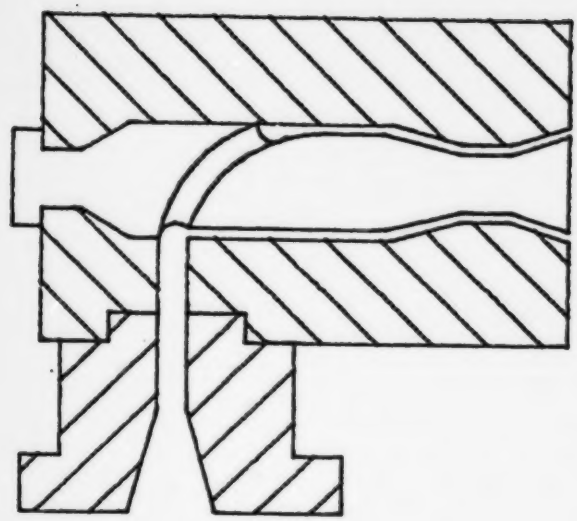
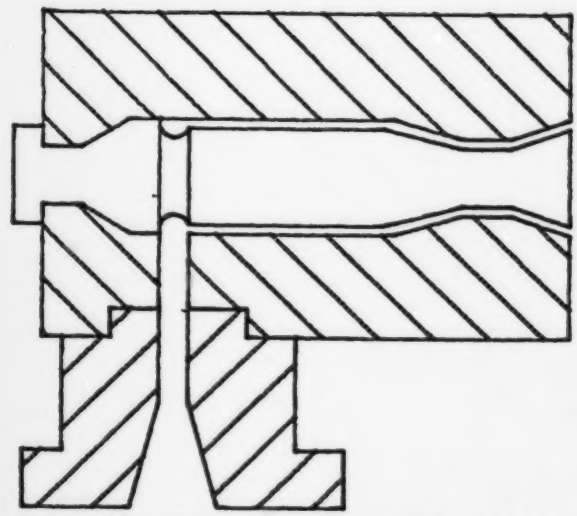


Figure 14

TETE D'EQUERRE AVEC ALIMENTATION LATERALE



TYPE AVEC CANAL EN COEUR



TYPE AVEC CANAL CYLINDRIQUE

Figure 15

La configuration la plus simple, soit le canal cylindrique, est surtout utilisée avec les résines ayant une bonne stabilité thermique.

Dans le cas des modèles avec canal en forme de coeur, une foule de variantes sont employées, selon le type de matière à mouler.

C'est une alimentations en coeur, spécialement adaptée, qui permet l'extrusion de paraisons avec une ligne en matière transparente, intégrée. Ceci permet la production de bouteilles avec lunette indicatrice de niveau moulée dans la paroi, (les canettes d'huile à moteur).

3.2.5 FILIERES ET POINCONS D'EXTRUSION

L'extrusion de la paraison est faite en forçant la matière plastique chaude dans l'espace entre la filière et le poinçon. Le système filière/poinçon peut être circulaire ou elliptique, selon la section de la pièce à mouler.

Le design du groupe filière/poinçon dépend à la fois de la forme et de la taille de la pièce à mouler et du type de matériel utilisé. Souvent, les fournisseurs de matières premières donnent des informations relatives au comportement rhéologique de leur produit, ainsi que des indications sur les filières recommandées.

Dans tous les types de filières, les arrêtes vives sont brisées afin de réduire le collage local du plastique chaud. Pour des raisons d'écoulement, il est souhaitable que les bases du poinçon et de la filière soient au même niveau. Une variance de quelques millimètres peut être acceptable, mais au-delà de celle-ci il y a risque de collage de la paraison.

Ce même phénomène de collage peut être observé si les différences de température sont trop fortes entre la filière et le poinçon.

Lorsque le design est définitif, il est avantageux de chromer les surfaces des poinçons et des filières. Ceci améliore la résistance à l'usure, réduit le collage et facilite le nettoyage.

Le profil, les dimensions, les angles et la qualité du fini de surface sont autant de facteurs qui influencent directement la qualité de la paraison et de ce fait, celle du produit moulé.

En plus des problèmes de qualité de surface et d'uniformité d'épaisseur, le système filière poinçon peut être la cause du défaut de plissage longitudinal dans la paraison.

Il y a deux principaux types de systèmes filières/poinçons, soient ceux à ouverture fixe et ceux à ouverture ajustable.

3.2.5.1 SYSTEME POINCON/FILIERE A OUVERTURE FIXE -

Par définition, ce système ne permet pas de modifier l'espace annulaire entre le poinçon et la filière, autrement qu'en changeant les composantes.

En n'étant pas adaptés à la programmation permettant de varier l'épaisseur de la paraison durant son extrusion, les systèmes à ouverture fixe sont relativement moins avantageux.

Ils sont surtout employés pour les pièces simples ou sur les équipements n'ayant pas de programmateur de paraison.

Le contrôle de la paraison est assuré par l'ajustement de l'angle et du pincement de la zone d'alimentation de la filière et par la longueur de la zone de sortie où le poinçon et la filière sont parallèles.

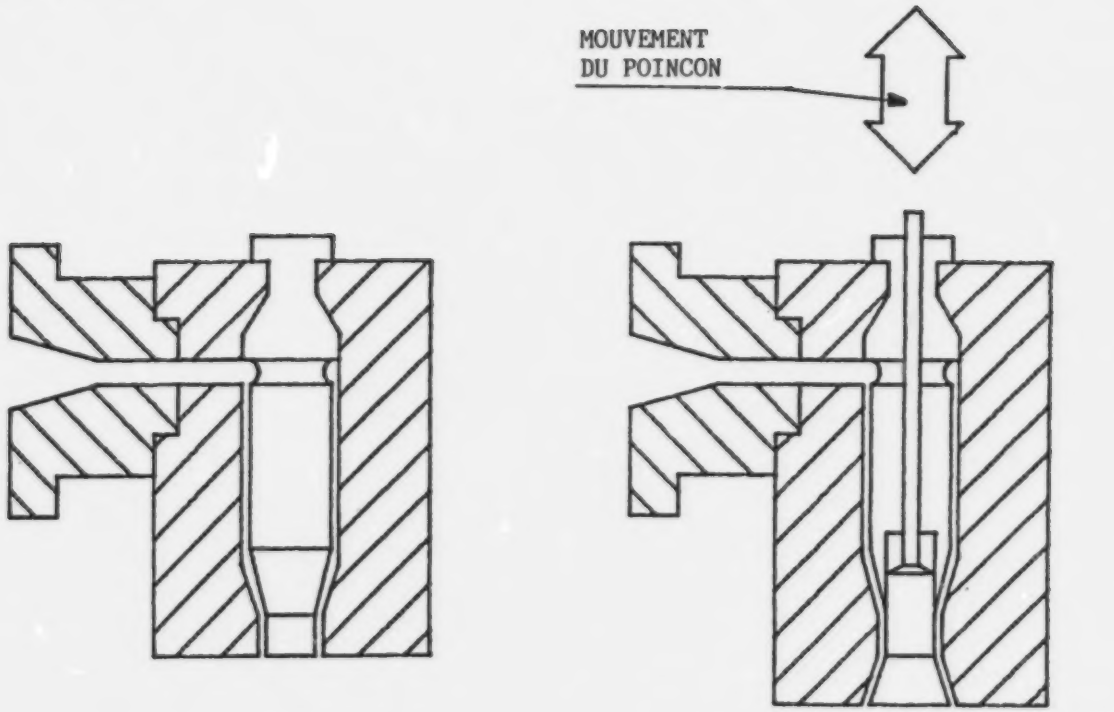
3.2.5.2 POINCON ET FILIERE A OUVERTURE AJUSTABLE -

Lorsque le profil à la base de la filière et du poinçon est conique, une variation verticale entre les deux éléments se traduit par une variation de l'espace annulaire à la sortie de la filière.

Ce principe est utilisé pour permettre de modifier l'épaisseur locale de la paraison durant son extrusion. Il est alors possible d'ajuster l'épaisseur locale de certaines régions en fonction du taux d'étirement qu'elles subiront et d'obtenir un produit d'épaisseur relativement uniforme.

La variation d'épaisseur est contrôlée par un système mécanique ou hydraulique, asservi par le programmeur de la paraison.

TYPES DE FILIERES



FILIERE A OUVERTURE FIXE

FILIERE A OUVERTURE AJUSTABLE

Figure 16

Ces systèmes, bien que plus performants au niveau de la qualité atteignable, sont plus difficiles à concevoir et a ajuster. Il faut tenir compte de la variation de l'ouverture et de ses conséquences sur l'enflure du coulis (die swell).

3.2.6 LA PRESSE POUR EXTRUSION SOUFFLAGE

Le procédé de soufflage se segmente en une foule de variantes, qui appellent chacune à des équipements particuliers.

Au-delà des contraintes spécifiques à un matériel ou à un type de produit, le critère régissant la plupart des équipements est d'obtenir une très haute cadence de production.

Les fonctions que doivent remplir les presses sont les suivantes:

- Supporter les moules;
- Fournir la force de fermeture;
- Couper la paraison;
- Gonfler la paraison dans le moule;
- Assurer l'éjection des pièces.

3.2.6.1 SUPPORTER LES MOULES -

Les sections du moule doivent être articulées symétriquement afin d'éviter qu'une section touche à la paraison avant l'autre. Il s'en suivrait un refroidissement local d'une moitié de la paraison et un gonflement inégal.

Les moules doivent être fermés rapidement afin de réduire le cycle au minimum tout en évitant un contact trop brusque des sections l'une sur l'autre. Comme l'insertion de la paraison exige une ouverture moins grande que l'éjection de la pièce gonflée, certains systèmes ont une phase de pré-fermeture,suivant l'éjection, permettant de gagner quelques secondes dans le cycle de moulage.

3.2.6.2 FOURNIR LA FORCE DE FERMETURE -

La pression de gonflage est d'environ 80 psi. Le mécanisme de fermeture doit donc être capable de maintenir le moule fermé sous une telle pression.

Une pression de fermeture trop faible causera des défauts de surface surtout au niveau du plan de joint, et un risque de perforation de la paraison.

3.2.6.3 COUPER LA PARAISON -

Sauf dans la technique en continue sur carrousel, où les pièces sont reliées en long saucisson, tous les modes de soufflage exigent une découpe de la paraison entre chaque cycle.

Plusieurs techniques peuvent être employées. La paraison peut être taillée par une lame mobile qui agit comme une guillotine ou par un effet d'étirage jusqu'à rupture. Cette dernière méthode étant toutefois plus délicate d'utilisation.

Sur certains systèmes en continu, la paraison est coupée et maintenue entre les pinces d'un système de transfert qui la conduit vers le moule.

3.2.6.4 GONFLER LA PARAISON DANS LE MOULE -

La fonction soufflage peut être faite par un jet d'air situé au centre de la tête d'extrusion ou par un mandrin qui vient se placer à l'une ou l'autre des extrémités de la paraison, dès que celle-ci est coincée dans le moule.

Certaines configurations de pièces très complexes, nécessitent l'utilisation d'un aiguille de gonflage. Ce mécanisme attaque latéralement la paraison, la perfore et fait le soufflage.

La production de contenants à double compartiments peut être faite en coinçant le centre de la paraison et en gonflant chacune des sections par un mandrin indépendant. Cette technique est entre autre utilisée pour la production de réservoirs à essence avec contenant

d'huile intégré.

3.2.6.5 ASSURER L'EJECTION DE LA PIECE -

Cette fonction peut inclure, en plus du démoulage, des opérations telles que le décarottage, la découpe des goulots ou d'autres opérations secondaires requises sur le produit.

Ce poste peut être jumelé à un système d'inspection en continu vérifiant l'étanchéité et le poids du produit moulé.

3.2.7 CONTROLEUR DE PARAISON

Le contrôleur de paraison peut servir à modifier globalement l'épaisseur (le poids) de la paraison ou d'en varier localement l'épaisseur en fonction du taux d'étirement prévu.

Cette dernière fonction est appelée programmation de la paraison.

Actuellement, la majorité des nouvelles machines de soufflage sont vendues avec un mécanisme de programmation de la paraison. Les systèmes peuvent être asservis par des cam, des systèmes électroniques ou des systèmes hydrauliques.

Les deux éléments essentiels des programmeurs de paraisons sont: le synchronisme avec le cycle et le nombre de points de programmation.

En ce qui a trait au synchronisme, certains systèmes moins élaborés n'offrent qu'un contrôle en fonction du temps. Cette méthode est relativement peu efficace si elle ne comporte pas un mécanisme de correction automatique en cas de déviation dans le cycle. (Closed loop).

La synchronisation peut, dans certains cas être faite par position de la vis ou du piston d'extrusion.

Concernant le nombre de points de programmation, il s'agit de définir les paliers d'ajustement de même que les temps de réponses. Plus un système porte de points d'ajustement, meilleur est le contrôle atteignable. Alors que certains systèmes n'ont que 5 ou 6 paliers de

contrôle, d'autres, plus évolués, en offrent jusqu'à 32.

En plus de la modification de la longueur de la paraison, certains systèmes permettent d'en contrôler la longueur. Il s'agit de lecteurs optiques qui ajustent l'extrusion en fonction de la longueur requise pour le moulage. Ces systèmes sont moins répandus que les programmeurs de paraison.

CHAPITRE 4

CONTROLE DU PROCÉDÉ

4.1 CONTROLE DU PROCEDE D'EXTRUSION SOUFFLAGE

Comme dans tous les procédés de moulage des plastiques, le moulage par extrusion soufflage nécessite un contrôle rigoureux de plusieurs variables, tant au niveau du conditionnement de la matière que dans sa mise en forme.

Sur la majorité des équipements d'extrusion soufflage, les éléments de contrôle se regroupent dans les catégories suivantes:

- Températures
  - Plastification
  - Coulis
  - Moule

- Pressions
  - Hydraulique (système complet)
  - Extrusion
  - Contre pression sur la vis
  - Pression de soufflage

- Vitesses
  - Rotation de la vis
  - Axial du piston ou de la vis
  - Fermeture et ouverture du moule

- Temps
  - Durée du cycle
  - Refroidissement
  - Programmation de la paraison

- Positions
  - Longueur de la paraison
  - Programmation de la paraison
  - Mouvement du piston ou de la vis
  - Localisation du moule

Alors qu'ils furent longtemps limités à des contrôles par relais mécaniques, à commutateurs de position et à des chronomètres, les nouveaux systèmes sont passés sur les technologies des contrôles par ordinateur.

Des CPU (Central Processing Units) opérant en circuit fermé (closed loop) permettent de maintenir les conditions de moulage à leur niveau optimum.

Dans plusieurs cas, des moniteurs (CRT), permettent de visualiser les conditions réelles en rapport avec celles définies lors de la mise en route.

Toutes ces mesures sont nécessaires pour produire efficacement et pour se maintenir compétitif. Car dans l'extrusion soufflage une production de qualité ne peut être obtenue que si les systèmes sont maintenus à l'intérieur d'une fourchette d'ajustement très étroite.

La raison de cette limitation au niveau contrôle, vient du fait que le procédé se fait en trois paliers et que les conditions de la matière sont modifiées à chacune de ces étapes.

La matière est d'abord plastifiée et homogénéisée de façon à pouvoir être extrudée. Elle est ensuite formée en paraison chaude et élastique, pour enfin être étirée et refroidie.

Le comportement rhéologique conditionné par la température du matériel de même que l'orientation et la relaxation moléculairec causées lors de son extrusion, sont deux des principales variables qui peuvent grandement influencer le comportement de la paraison et par conséquence la qualité du produit gonflé.

L'état de la paraison sera aussi influencé par le synchronisme des étapes du cycle de moulage. Le temps d'attente de la paraison extrudée durant le refroidissement de la pièce ou durant le retour du moule de même que le temps d'attente de la matière dans l'accumulateur modifient le comportement du plastique et ont des effets directs sur le produit moulé.

4.2 FORMATION DE LA PARAISON ET CONTROLE DES EPAISSEURS

Le contrôle et la calibration de la paraison sont les éléments fondamentaux du procédé d'extrusion soufflage.

L'état de la paraison met en cause tous les autres éléments du contrôle du procédé, de la plastification du matériel jusqu'à son étirement dans le moule.

D'une part, l'état de la paraison est influencé par le type de matériel, le degré et la qualité de sa plastification de même que par la vitesse d'extrusion ainsi que la forme et les dimensions de la filière.

D'autre part, l'état de la paraison influencera l'état du produit fini aux niveaux de sa résistance mécanique, son épaisseur, son poids et sa qualité de surface.

Le contrôle de la paraison, tant en ce qui a trait aux facteurs conduisant à sa formation qu'à ceux qui en résultent, est l'élément clef assurant la maîtrise du procédé d'extrusion soufflage.

Plusieurs analyses faites à ce jour, visent à établir une corrélation entre le profil de la paraison et celui du produit fini. Les éléments généralement considérés dans ces études, sont les

suivants:

- Variation circonférentielle des épaisseurs;
- Variation longitudinale des épaisseurs;
- Enflure sous relaxation (die swell).

4.2.1 VARIATION LONGITUDINALE DES EPAISSEURS

Cette technique est mieux connue sous le terme de "programmation de la paraison". Elle consiste à modifier l'épaisseur annulaire de l'espace entre le poinçon et la filière, afin de modifier l'épaisseur de la paraison.

Il y a deux niveaux de programmations de l'épaisseur de la paraison:

- Modification globale du poids de la pièce;
- Contrôle local de l'épaisseur moulée.

La première fonction, moins flexible que la deuxième, permet d'ajuster la quantité totale de matière utilisée pour la formation de la paraison. C'est une méthode d'ajustement relativement limitée et qui ne tient pas compte des variations locales d'épaisseur.

Le deuxième niveau de contrôle permet de modifier localement l'épaisseur de la paraison sur une certaine portion de sa longueur, il s'agit d'une véritable programmation des épaisseurs en fonction du cycle d'extrusion.

La configuration de la pièce impose normalement différents taux d'étirement de la paraison, en fonction de son profil. Comme le diamètre de la paraison est théoriquement le même sur toute sa longueur, il en résulte qu'un étirement plus grand produit une paroi plus mince.

La façon de maintenir une paroi d'épaisseur relativement uniforme est de faire en sorte que la paraison soit plus épaisse dans les zones où un étirement plus grand est prévu.

Cette variation d'épaisseur est obtenue en modifiant l'espace entre la filière et le poinçon, durant l'extrusion de la paraison.

En répartissant plus uniformément la quantité de matériel, il est possible de maintenir un poids minimum tout en rencontrant les normes de résistances mécaniques.

4.2.2 VARIATION CIRCONFERENTIELLE DES EPAISSEURS

Pour produire efficacement certains profils de pièces, il n'est pas suffisant de modifier le profil longitudinal de la paraison, mais il faut aussi en ajuster le profil circonférentiel.

Cette situation apparaît entre autre dans le cas de bouteilles qui ne sont ni circulaires ni elliptiques. Il faut alors extruder une paraison ayant des variations circonférentielles des épaisseurs, afin de compenser pour les différences d'étirement.

Par exemple, le moulage d'une bouteille ayant une section carrée, est amélioré en utilisant une filière à cannelures. Ce profil de filière donne une paraison avec des surépaisseurs situées dans l'axe d'extrusion.

Une modification locale de la filière, couplée au mouvement du poinçon permet de limiter la modification de profil à une seule section de la paraison, permettant alors la programmation complète du système.

La modification et l'ajustement des filières donnant un ajustement circonférentiel de l'épaisseur de la paraison, est une technique relativement complexe. Compte tenu du comportement rhéologique du matériel et des effets de la forme de la filière sur l'écoulement du plastique, la mise au point nécessite généralement une phase plus ou moins importante "d'essais et erreurs".

Encore plus spécialisés que les filières décrites plus haut, sont les systèmes d'extrusion de la paraison par filière à "conformateur annulaire". Il s'agit d'un mécanisme situé à la base de la filière,

PROGRAMMATION DE LA PARAISON
CONTROLE LONGITUDINAL DES EPAISSEURS

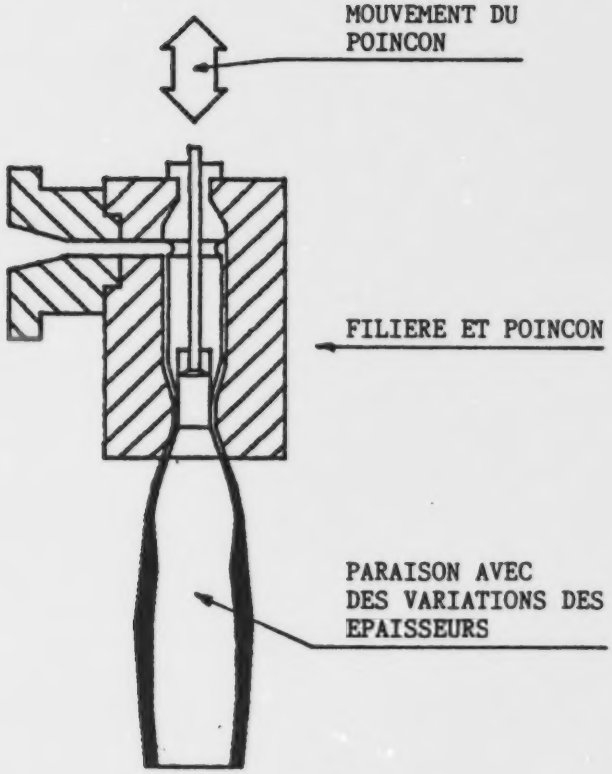
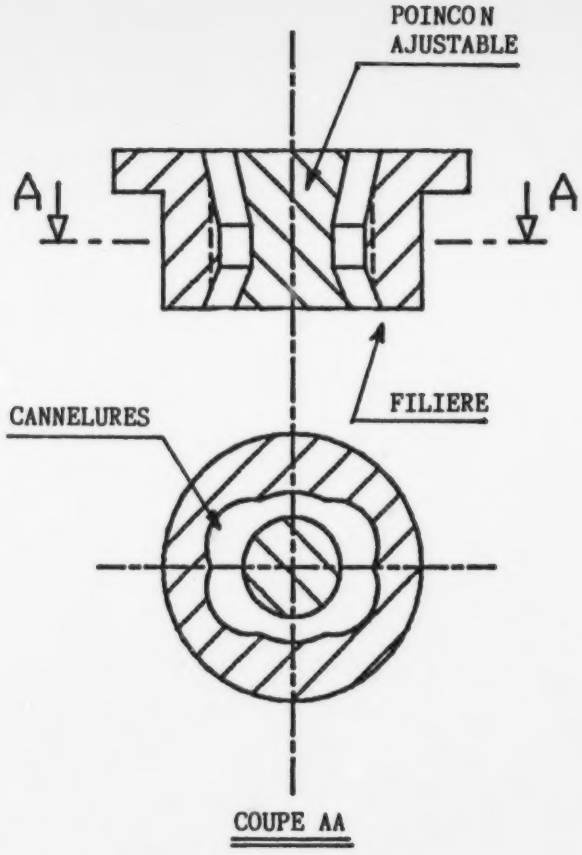


Figure 17(a)

PROGRAMMATION DE LA PARAISON
CONTROLE CIRCONFERENTIEL DES EPAISSEURS

SECTION TYPE, SANS
CONTROLE DES EPAISSEURS

SECTION TYPE, AVEC
CONTROLE DES EPAISSEURS



COUPE AA

Figure 17(b)

qui est contrôlé mécaniquement et dont la conception permet un ajustement local par pincement.

Ce système est synchronisé avec la programmation longitudinale de manière à offrir un maximum de flexibilité dans le profil de la paraison.

4.2.3 ENFLURE SOUS RELAXATION (DIE SWELL)

Lorsque le plastique fondu est extrudé par la filière, les forces de cisaillement produisent une orientation des chaînes moléculaires. A l'extérieur de la filière, les chaînes moléculaires tendent à reprendre une structure non orientée.

Les chaînes étirées et alignées les unes contre les autres occupent moins de volume que les mêmes chaînes "non alignées" et dispersées dans toutes les directions. Cette relaxation moléculaire, à la sortie de la filière, qui permet aux chaînes de reprendre une position isotropique, résulte donc en une augmentation du volume spécifique.

Ce phénomène, (die swell) se manifeste surtout par un gonflement de l'épaisseur de la paroi et une augmentation du diamètre de la paraison.

Les analyses faites à date, tendent à démontrer que les principaux facteurs affectant le taux d'enflure sous relaxation sont la forme de la filière et le type de polymère extrudé.

4.2.3.1 EFFET DE LA FORME DE LA FILIERE SUR L'ENFLURE -

En ce qui a trait à la forme de la filière, il y a trois situations possibles:

ENFLURE DE LA PARAISON, CAUSEE PAR LA RELAXATION MOLECULAIRE

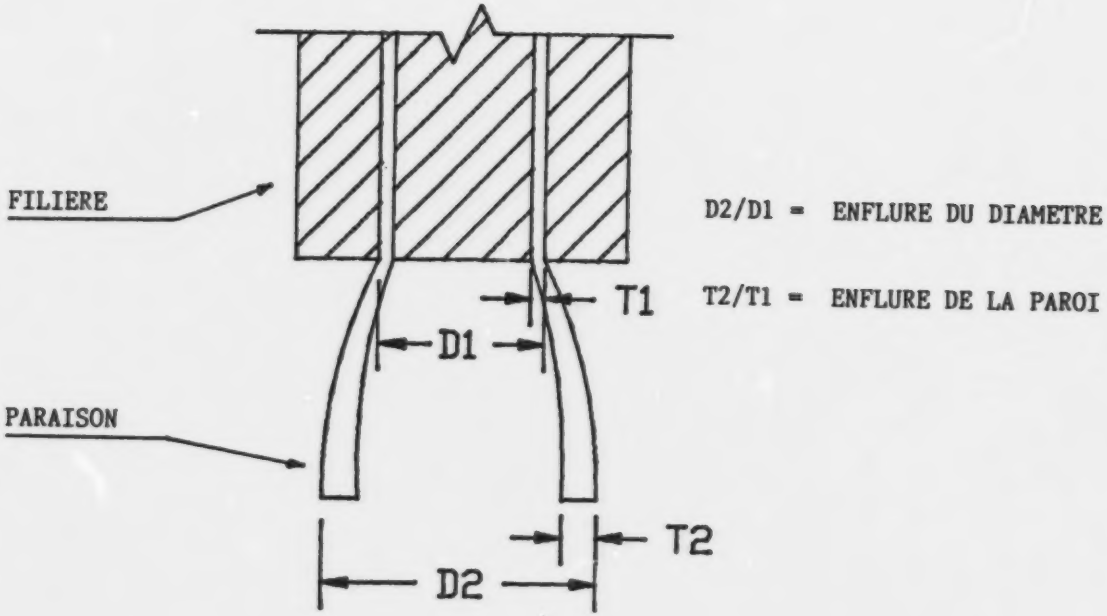
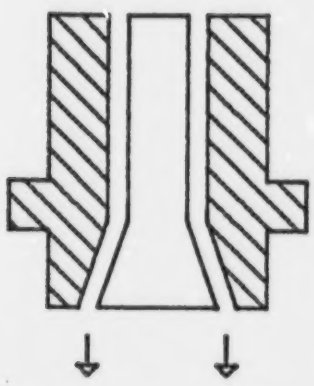
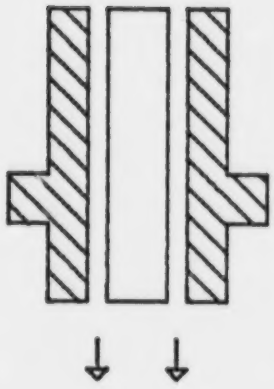


Figure 18

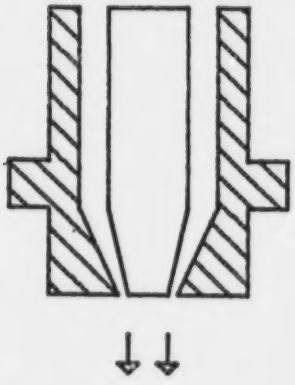
DIVERS TYPES DE FILIERES



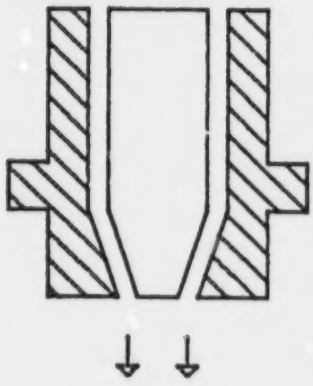
FILIERE DIVERGENTE



FILIERE PARALLELE



FILIERE CONVERGENTE
A DIAMETRE CONVERGENT



FILIERE CONVERGENTE
DE TYPE PARALLELE

Figure 19

- Filière parallèle;

- Filière divergente;

- FIlière convergente.

4.2.3.2 FILIERE PARALLELE -

Une filière parallèle, produit une orientation moléculaire moyenne et par conséquent une enflure moyenne, tant du diamètre que de l'épaisseur.

4.2.3.3 FILIERE DIVERGENTE -

La filière divergente donne une certaine orientation circulaire des molécules, qui restreint le taux d'enflure du diamètre mais qui a peu d'effet sur l'enflure de la paroi. A la limite une forte orientation "circulaire" pourrait même causer une enflure négative du diamètre.

4.2.3.4 FILIERE CONVERGENTE -

La filière convergente augmente l'orientation moléculaire en surface de la paraison et produit une enflure plus importante. Dans le cas où le poinçon et la filière convergent parallèlement, l'enflure du diamètre est forte mais l'enflure en épaisseur n'est pas plus importante que pour les autres types de filières. Par contre, lorsque les diamètres du poinçon et de la filière sont eux aussi convergents, il en résulte une plus forte enflure de l'épaisseur de la paroi.

Ces résultats démontrent qu'en fonction de la forme de la filière, il est possible d'agir indépendamment sur l'enflure du diamètre ou sur celui de l'enflure de la paroi de la paraison.

4.2.3.5 EFFET DU MATERIEL SUR L'ENFLURE DE LA PARAISON -

En plus de la forme de la filière, le comportement rhéologique et la structure moléculaire de la résine sont des facteurs qui influencent aussi l'enflure sous relaxation.

Par exemple, la réponse du coulis de résine sous l'effet de cisaillement, le degré d'alignement que les molécules peuvent subir durant l'extrusion et leur taux spécifique de relaxation, sont quelques uns des éléments influençant l'enflure que subira la paraison.

Peu importe le type de matériel, il semble qu'ils subissent tous les mêmes genres de modifications en fonction du type de filière utilisée.

Enfin, il faut tenir compte du facteur temps dans la relaxation moléculaire, car de 60 à 80 % celle-ci a lieu dans les premières secondes suivant l'extrusion.

4.3 CONTROLE DE LA QUALITE

Largement utilisés dans le domaine de l'emballage, les produits moulés par extrusion soufflage sont souvent inspectés à 100 %.. L'étanchéité et l'épaisseur des pièces étant parmi les principaux points de contrôle.

La procédure de contrôle la plus avantageuse consiste à mesurer certains critères spécifiques dès la fabrication de l'objet. En couplant les systèmes de contrôle à ceux réglant les paramètres d'ajustement de la machine, il est alors possible de les modifier par un mécanisme de "Feed back" automatique.

Les points de contrôle les plus fréquemment utilisés sont:

- Contrôle de la longueur de la paraison;
- Pesée des pièces, en automatique;
- Vérification des épaisseurs;

- Test d'étanchéité.

4.3.1 CONTROLE DE LA LONGUEUR DE LA PARAISON

De légères déviations dans les paramètres de moulage ou dans les caractéristiques du matériel influencent directement la longueur de la paraison.

Pour obtenir des produits de qualité uniforme, il est avantageux d'ajuster le cycle de façon à maintenir constantes, la forme et la longueur de la paraison d'un cycle à l'autre.

Une méthode de plus en plus utilisée consiste à utiliser un lecteur optique relié à des chronomètres. Ces systèmes sont organisés de façon à maintenir la longueur de la paraison à l'intérieur de la fourchette prescrite. L'opération se fait en contrôlant la vitesse de la vis ou du piston d'extrusion.

4.3.2 PESEE DES PIECES EN AUTOMATIQUE

En plus de contrôler la longueur de la paraison il importe, pour maintenir une qualité constante, de s'assurer que les pièces rencontrent le poids minimum requis.

Un poids inférieur à la limite prescrite est un indicateur d'une faiblesse structurale causée par une épaisseur trop faible.

Il est possible d'équiper le système d'extrusion soufflage d'une balance automatique qui mesure le poids de chaque produit moulé et le compare à la norme pré-définie.

Lorsque le poids est hors des limites de la déviation standard, le système est conçu de façon à modifier l'ouverture de la filière afin de ramener le poids à l'intérieur de la norme.

Tout en maintenant le même profil de programmation de l'épaisseur, il est possible de modifier globalement l'ouverture de la filière afin de changer le poids des pièces et par conséquent leur épaisseur moyenne.

GRILLE DE CORRECTION DES DEFAUTS D'EXTRUSION SOUFFLAGE

DEFAUTS / CORRECTIONS	TORSION DANS PARAISON	SURFACE RUGUEUSE DE PARAISON	ETIRAGE DE PARAISON	LIGNES DANS PARAISON	GONFLAGE DE PIECE INCOMPLET	SURFACE DE PIECE RUGUEUSE	PIECE TROP MINCE	MAUVAISE SOUDURE JOINT MOULE	RETRAIT EXCESSIF DANS PIECE	COLLAGE DANS LE MOULE	LIGNES BRUNES SUR PARAISON	PIECE MANQUE DE LUSTRE
AUGMENTER TEMPERATURE FILIERE												X
UNIFORMISER TEMPERATURE PARAISON	X											
AUGMENTER TEMPERATURE EXTRUSION		X						X				X
REDUIRE VITESSE D'EXTRUSION		X										
UTILISER RESINE A PLUS BAS MELT INDEX			X				X					
REDUIRE TEMPERATURE D'EXTRUSION			X				X	X			X	
AUGMENTER VITESSE D'EXTRUSION			X				X					
POLIR FILIERE ET POINCON				X								
NETTOYER EQUIPEMENT D'EXTRUSION				X								
AUGMENTER PRESSION GONFLAGE					X	X			X			
ALLONGER TEMPS DE GONFLAGE					X							
AUGMENTER TEMPERATURE AIR DE GONFLAGE					X							
VERIFIER EVENTS SUR LE MOULE						X						
VERIFIER LE FINI DU MOULE						X				X		X
AJUSTER L'ESPACE FILIERE/POINCON	X						X					
REDUIRE LA PRESSION DE GONFLAGE								X				
AJUSTER FORCE FERMETURE DU MOULE								X				
ALLONGER LE TEMPS DE REFROIDISSEMENT									X	X		
REDUIRE LA TEMPERATURE DU MOULE								X		X		
AJUSTER TEMPERATURE POINCON/FILIERE		X	X									
REDUIRE LE TEMPS DE RESIDENCE											X	

4.3.3 VERIFICATION DES EPAISSEURS

En plus des mesures indirectes, telles que celles données par le contrôle du poids des pièces, il est possible de mesurer directement les épaisseurs des produits moulés.

Les méthodes conventionnelles de mesure des épaisseurs, telles que les mesures mécaniques, sont généralement non adéquates pour contrôler les épaisseurs des pièces moulées par soufflage. La limitation étant bien entendu la forme qui réduit l'accessibilité pour les mesures.

On a plutôt recours à des équipements électroniques ou magnétiques qui donnent l'épaisseur en mesurant l'absorption du signal au travers la paroi.

Les systèmes magnétiques exigent toutefois qu'un capteur soit placé à l'intérieur de la paroi. L'appareil enregistre alors la perte d'intensité magnétique et l'épaisseur est alors déduite par calcul.

Les systèmes basés sur l'absorption infrarouge nécessitent aussi un accès de part et d'autre de la paroi à mesurer. Contrairement aux moyens magnétiques,les systèmes infrarouge n'ont pas à être directement appuyés contre la paroi. Ceci en simplifie l'utilisation.

Les méthodes par ultra-sons peuvent être faites en ayant accès à un seul côté de la pièce. Elles consistent a détecter l'écho qui est réfléchit dès que le signal atteint une matière de densité différente de celle de la paroi.

4.3.4 TEST D'ETANCHEITE

Ce test est particulièrement important dans le domaine de l'emballage. Certains équipements mécaniques permettent de contrôler 100% des pièces produites.

Il s'agit généralement d'un test fait sous pression d'air, avec un lecteur qui enregistre les fuites éventuelles.

En plus de détecter les porosités dans la pièce, ce test permet de vérifier la qualité des filets de même que la résistance mécanique du contenant sous pression.

CHAPITRE 5

MOULES D'EXTRUSION SOUFFLAGE

5.1 CONFIGURATION DES MOULES D'EXTRUSION SOUFFLAGE

5.1.1 CONFIGURATION GENERALE

Les moules d'extrusion soufflage ont deux fonctions principales, soient la mise en forme et le refroidissement de la pièce gonflée.

L'extrusion soufflage n'implique que des pressions d'environ 80 psi dans le moule. Cette contrainte relativement faible, permet d'utiliser des outillages moins coûteux que pour des procédés tels que l'injection ou la compression.

La sélection du matériel servant à faire le moule, bien qu'elle doive tenir compte de la pression, doit surtout être faite en fonction de la rapidité de refroidissement de la pièce moulée.

Les coquilles métalliques, qui offrent un bon transfert de chaleur et une résistance mécanique suffisante sont généralement utilisées pour la fabrication des moules.

En plus de la sélection du matériel, sujet qui sera traité plus loin, la conception du moule d'extrusion soufflage comprend les éléments suivants:

- La canne ou l'aiguille de gonflage;

- Les zones de pincement;

- Les évents;

- Le système de refroidissement;

- Le mécanisme de décarottage et finition.

Enfin, le moule doit être fabriqué de manière à tenir compte du retrait du matériel lors de son refroidissement.

5.1.2 LA CANNE OU L'AIGUILLE DE GONFLAGE

Le soufflage de la paraison peut se faire de plusieurs façons. La technique dépend du type d'équipement et du design de la pièce.

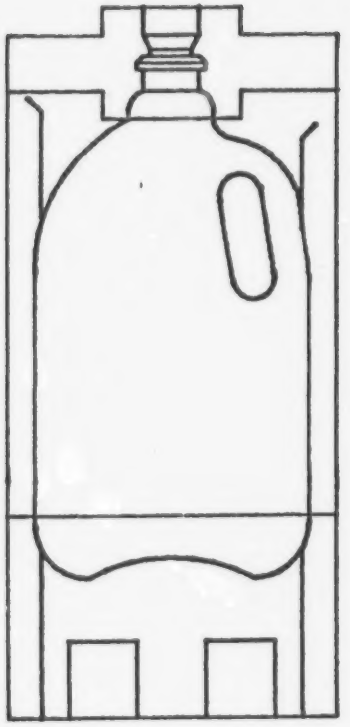
Les quatre principales techniques sont:

- Soufflage par la filière d'extrusion;
- Soufflage par une buse fixe ou mobile;
- Soufflage par une aiguille latérale.

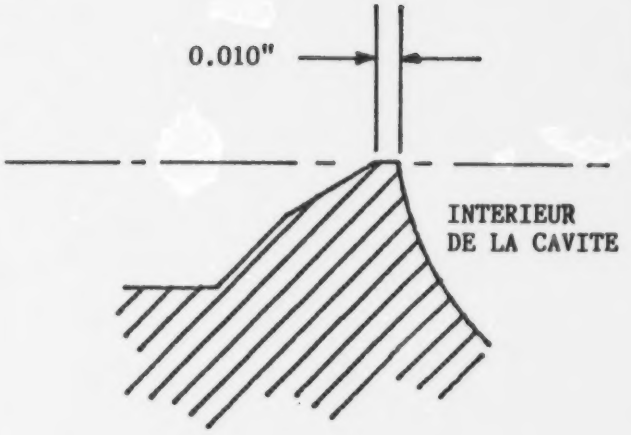
5.1.2.1 SOUFFLAGE PAR LA FILIERE D'EXTRUSION -

Dans le cas où la filière porte un orifice de gonflage, celui-ci sert à introduire l'air dans la paraison dès qu'elle est coincée par le moule.

Cette méthode est surtout applicable dans les situations d'extrusion intermittente; le moule devant demeurer sous la filière.



SCHEMA D'UN MOULE TYPE, LES ZONES FONCEES SONT CELLES OU SE FAIT LE PINCEMENT DE LA PARAISON



DETAIL DU PINCEMENT

Figure 20

5.1.2.2 SOUFFLAGE PAR UNE BUSE FIXE OU MOBILE -

Une canne de gonflage, est localisée sous la paraison. Lorsque le moule est fermé il coince la paraison autour de celle-ci et l'air est injecté.

Cette méthode, semblable à celle du gonflage par la filière, peut s'adapter à l'extrusion continue, dans ce cas, la paraison est coupée et transportée sur la canne de gonflage.

Certains équipements portent une buse de gonflement qui se place sur la paraison une fois que celle-ci est coincée dans le moule.

5.1.2.3 SOUFFLAGE PAR UNE AIGUILLE -

Le design de la pièce peut parfois limiter les accès pour la buse de gonflage. Le problème est alors résolu en utilisant une aiguille de gonflage. Celle-ci est insérée latéralement en perforant la paraison coincée dans le moule.

Cette aiguille dont le diamètre est plus petit qu'une buse de gonflage, est adaptée au moulage de pièces devant être fermées des deux extrémités.

5.1.2.4 LES ZONES DE PINCEMENT -

La localisation du plan de joint doit permettre un démoulage aisé tout en assurant une certaine symétrie dans l'étirement de la paraison.

Pour une pièce cylindrique, le plan de joint passe par le diamètre du cylindre. Sur une pièce ovale, il est avantageux de minimiser l'étirement de la paraison en faisant passer le plan de joint par l'axe majeur de la section.

Sur une pièce carrée, il est possible de passer le plan de joint au centre d'une des faces. Il serait aussi possible de le faire passer par la diagonale, ce qui faciliterait le démoulage, mais réduirait l'épaisseur de la paroi dans les coins.

DIVERS TYPES DE SOUDURES ET DE PINCEMENTS DE LA PARAISON

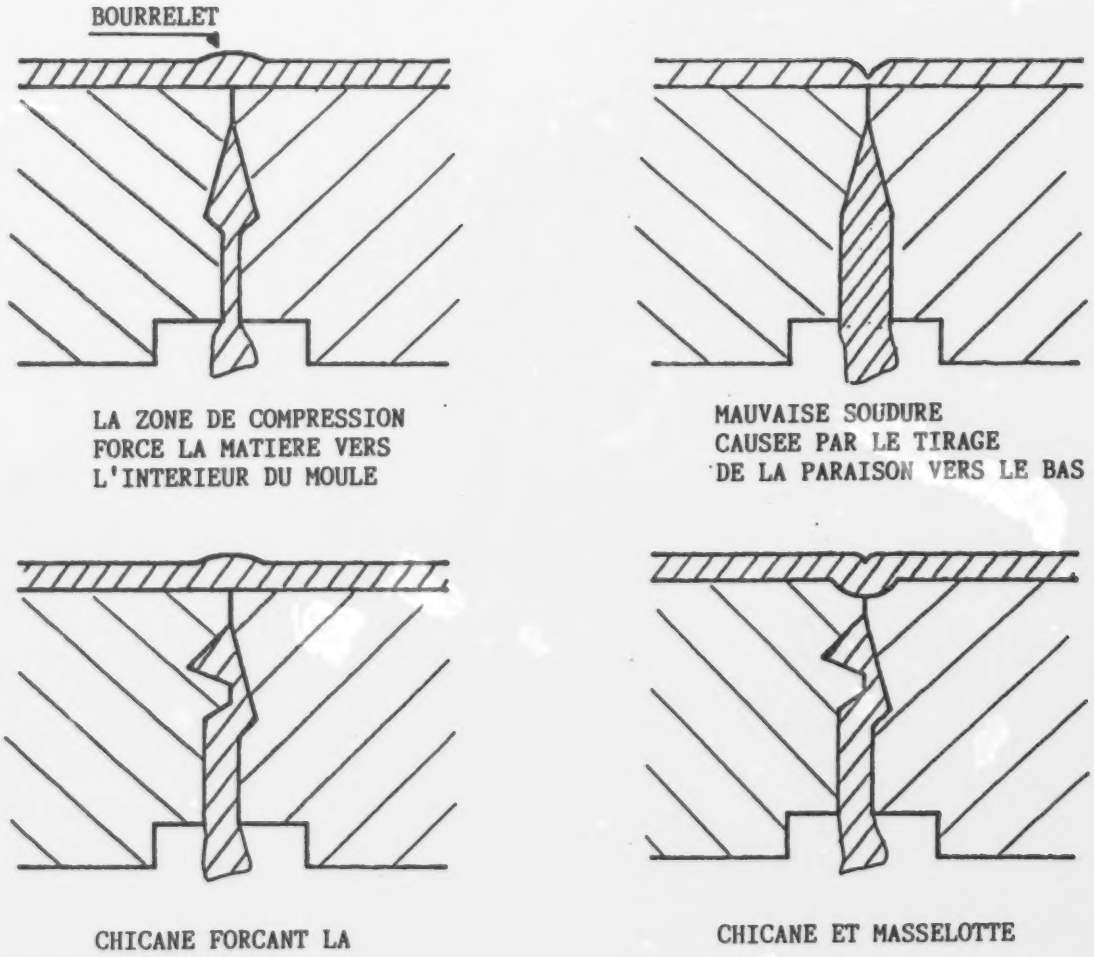


Figure 21

Le plan de joint d'un moule d'extrusion soufflage comprend deux sections: la section latérale qui fait contact métal contre métal et les sections de pincement qui coincent la paraison.

La largeur de cette zone de pincement (pinch off zone) doit être légèrement supérieure à la largeur de la paraison aplatie, sinon une portion de la paraison pourra être pincée par le plan de joint standard du moule et il y aura une mauvaise soudure.

La section de pincement doit souder les parois de la paraison tout en créant une zone de déchirure qui facilitera le décarottage de la pièce.

Bien que les alliages d'aluminium offrent une certaine résistance à l'usure, il est fréquent que les zones de pincement soient faites d'une matière plus résistante, tels que l'acier ou un alliage au cuivre/bérylium. Ce dernier est meilleur à cause de son bon transfert thermique.

Ces zones de pincement sont souvent faites de sections amovibles, ce qui en facilite la réparation ou le remplacement éventuel.

Le design de la section de pincement doit permettre une bonne soudure de la paraison tout en créant une zone facilitant la déchirure de l'excès de matériel (décarottage).

L'arête de la section de pincement porte un plat d'environ 0.010" à 0.020" de large. Si la section est trop mince et tranchante, la paraison ne sera pas pincée mais tranchée et la soudure sera mauvaise.

Derrière ce pincement, il y a une zone plane ou angulaire qui influence aussi la qualité de la soudure. L'angle et la forme de cette section forcent le matériel vers l'intérieur de la pièce de manière à créer un bourrelet de renfort qui améliore la soudure.

Dans le cas où la matière est fortement étirée, l'angle est très faible, de manière à forcer un maximum de matière vers l'intérieur. Dans les autres cas, l'angle fait entre 15 et 30 degrés.

Certaines sections derrière le pincement portent une chicane qui force davantage le matériel vers l'intérieur de la pièce.

DIVERS TYPES D'EVENTS

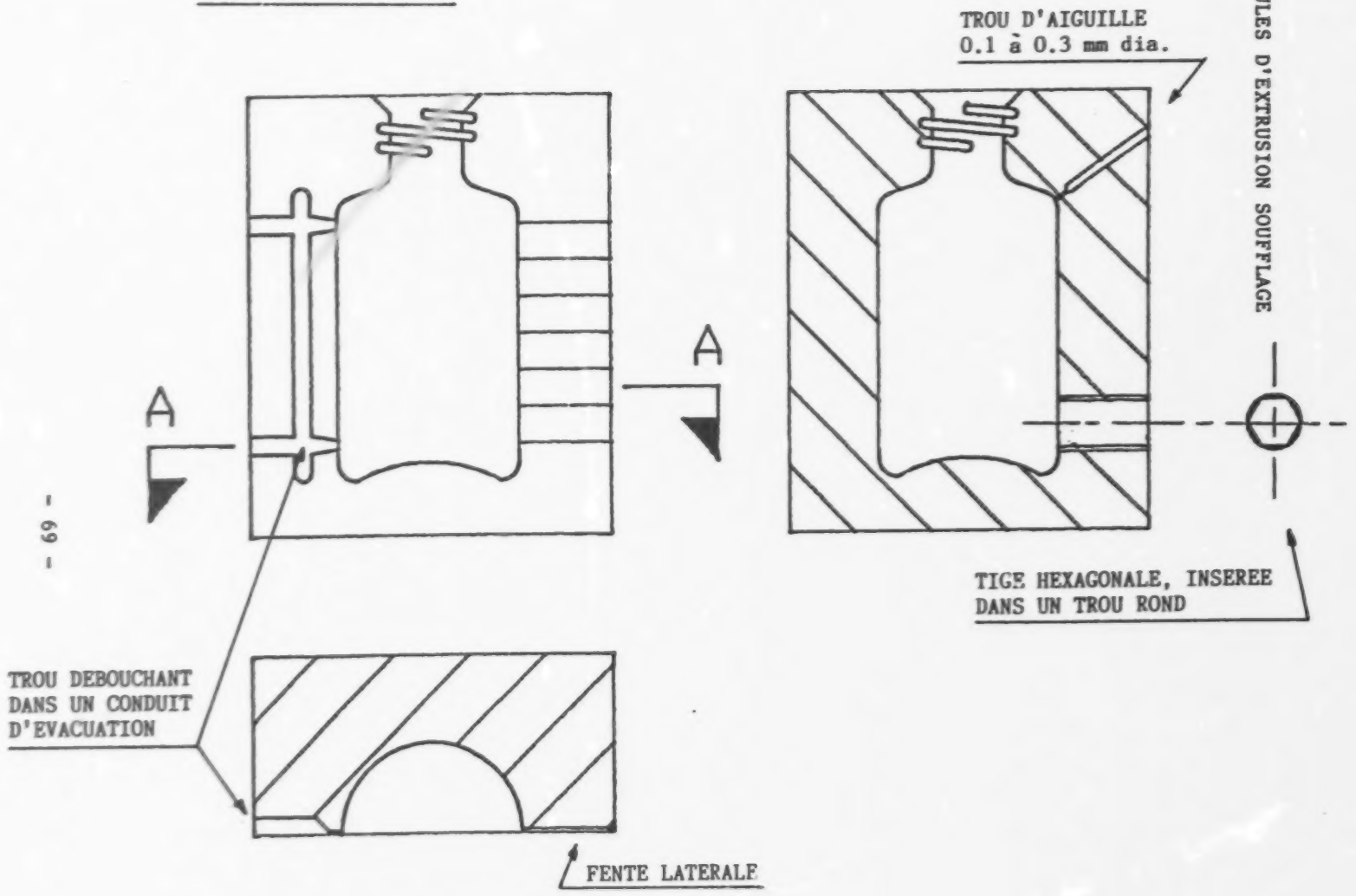


Figure 22

Dans le bas de la paraison, le pincement est ouvert sur une poche (flash pocket) qui reçoit la queue de la paraison. La forme et l'espacement de cette poche influencent la qualité de la soudure.

Si la poche est trop large, la queue de la paraison n'a pas un bon contact avec le moule et ne refroidit pas suffisamment; la chaleur migre alors vers la soudure et l'attaque.

Si la poche est trop étroite, elle empêche la fermeture du moule et empêche la soudure.

Enfin, la vitesse de fermeture du moule est un autre des facteurs qui influencent la qualité de la soudure et du décarottage. Une fermeture lente améliore la qualité de la soudure mais réduit la facilité de décarottage, tandis qu'une fermeture rapide fait l'inverse.

5.1.3 LES EVENTS

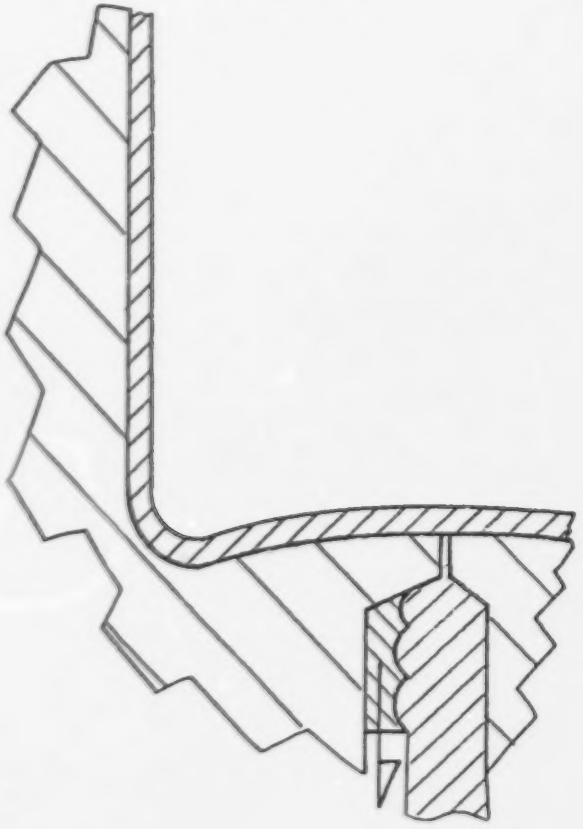
Durant le soufflage, l'air prisonnier entre la paraison et la surface du moule doit être rapidement évacué. Si tel n'est pas le cas, ou si des poches d'air demeurent prises entre le plastique et le moule, la pièce n'épousera pas bien la forme du moule ou aura des défauts de surface tels que de la "pelure d'orange".

La majeure partie de l'air est évacuée par le plan de joint. Pour ce faire, deux moyens sont suggérés, soient des fentes de 25 mm de largeur par 0,4 mm de profondeur qui vont de la cavité à l'extérieur du moule; ou des canaux de 0,5 mm de diamètre et qui débouchent dans un conduit d'évacuation.

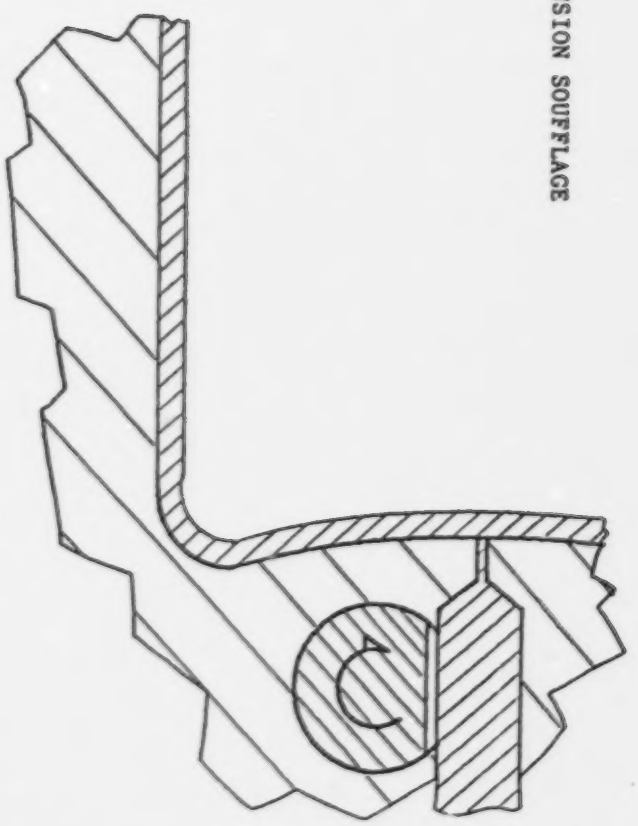
Certaines sections du moule ne peuvent pas être ventilées par le plan de joint, on utilise alors une ventilation au travers des orifices perforés directement dans la paroi du moule.

Il faut s'assurer que les orifices ne sont pas trop petits pour limiter la ventilation, ni trop grands pour laisser une marque sur la pièce. Règle générale, ces trous sont entre 0,1 et 0,3 mm de diamètre.

MECANISMES DE DECAROTTAGE AUTOMATIQUE



ACTION VERTICALE



ACTION ROTATIVE

Figure 23

Il est parfois possible de percer des trous plus grands et d'y insérer des tiges hexagonales. L'air s'échappe alors entre les pans de la tige et la courbure du trou.

Le fini du moule joue aussi un rôle dans l'évacuation de l'air. Un plan de joint ayant un fini légèrement rugueux facilite l'évacuation de l'air au travers le fin réseau granuleux. De même, une surface de cavité dépolie, facilite le glissement de l'air entre le plastique et le moule, plus facilement qu'une surface très polie.

5.1.4 REFROIDISSEMENT DU MOULE

La rapidité de refroidissement des pièces moulées est la principales contrainte limitant l'augmentation des cadences de moulage.

Il existe trois solutions pour pallier à ce problème: le refroidissement par le moule, le refroidissement interne de la pièce et plus récent, le refroidissement après démoulage.

La technique utilisée peut être l'une ou l'autre de ces méthodes ou une combinaison des trois.

5.1.4.1 REFROIDISSEMENT PAR LE MOULE -

Les moules sont faits d'une matière qui permet un bon transfert de chaleur. Cette chaleur doit cependant être absorbée par un médium réfrigérant qui l'évacue et garde le moule froid.

Les méthodes les plus souvent employées sont de percer la masse du moule d'une série de canalisations dans lesquelles circule un liquide réfrigérant.

Plusieurs designs sont possible, certains sont limités à des canaux reliés entre eux alors que dans d'autres cas tout l'intérieur du moule est évidé et arrangé de manière à permettre un refroidissement par giclage du liquide.

Les canaux de refroidissement doivent être localisés le plus près possible de la surface du moule, sans toutefois en affecter la résistance mécanique.

Dans le cas des cavités de giclage, qui ont un grand volume et qui affaiblissent la structure du moule, des piliers sont localisés afin de supporter la pression de soufflage.

La température du réfrigérant doit être maintenue au minimum, sans toutefois dépasser la limite qui produit de la condensation sur la surface du moule.

5.1.4.2 REFROIDISSEMENT PAR L'INTERIEUR DE LA PIECE -

Bien que le moule soit fait d'une matière conduisant bien la chaleur, ce n'est pas le cas de la pièce moulée. Le refroidissement est alors d'autant plus difficile que la paroi est épaisse; le plastique faisant une barrière isolante.

Pour pallier à cet inconvénient, il est intéressant de faire un refroidissement par l'intérieur de la pièce en même temps que de l'extérieur. Il en résulte une diminution du temps de cycle, qui dans certains cas peut être de 30%.

Le moyen le plus simple de refroidir l'intérieur de la pièce est d'y injecter de l'air par le biais de la buse de gonflage. Un deuxième orifice, dans la buse, permettant l'évacuation de l'air chaud et assurant un mouvement continuel d'air frais.

Dans certains systèmes l'air avant d'être injecté est refroidi à basse température. Cet air peut aussi être injecté sous pression.

Une autre méthode pour refroidir l'intérieur des pièces est d'y injecter un liquide "super-froid", tel que du gaz carbonique ou de l'azote. Cette technique est toutefois plus complexe et plus coûteuse que la simple injection d'air.

5.1.4.3 REFROIDISSEMENT APRES LE DEMOULAGE -

Cette technique consiste à démouler la pièce alors qu'elle est encore chaude et de la placer dans un gabarit de refroidissement.

Cette procédure permet d'atteindre des cadences élevées sans recourir à des méthodes de refroidissement coûteuses telles que celles utilisant des liquides "super-froids".

Il faut toutefois s'assurer que les gabarits de refroidissement permettent de maintenir une conformité acceptable d'une pièce à l'autre.

5.1.5 DECAROTTAGE ET FINITION DES PIECES

Le moulage par extrusion soufflage produit des pièces ayant des surplus de matières excédant du moule au niveau du pincement de la paraison, ce qui nécessite des opérations de finition.

De même, des sections telles que les goulots de bouteilles doivent être découpées et/ou alésées, pour être utilisables.

Toutes ces opérations peuvent être faites après le démoulage, mais pour être compétitif il est intéressant d'en effectuer certaines au moment du moulage.

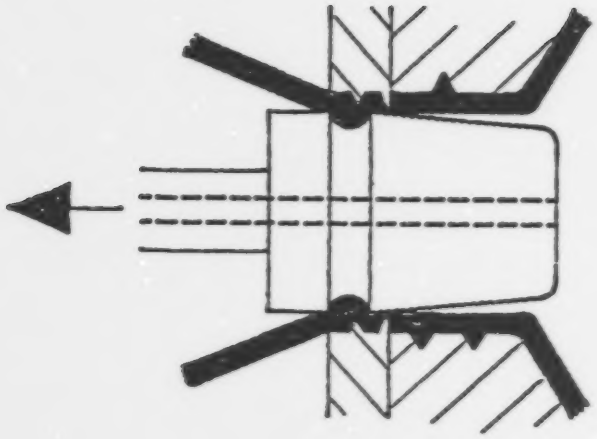
Pour le décarottage des pièces, qui consiste à enlever l'excédent de matière qui dépasse du pincement, il suffit, en général, de tirer sur le surplus de matière pour arriver à le déchirer le long de la ligne de pincement.

Pour ce faire, les moules portent des mécanismes qui coincent les chutes de matériel et les tirent en les arrachant.

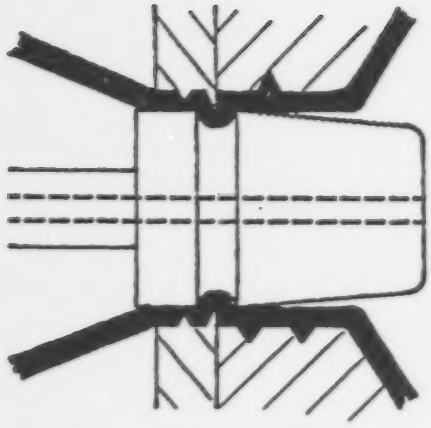
En ce qui a trait à la finition des goulots, il est possible d'en faire la découpe au démoulage, en utilisant un outil tranchant qui fauche la paraison. Certains systèmes font tourner le couteau autour du goulot afin de tailler la paraison.

Le goulot peut aussi être "usiné" afin d'avoir une section plane qui assure son étanchéité. Plusieurs des mécanismes permettant de faire cette opération utilisent le mouvement et le profil de la buse de gonflage pour rectifier la finition du goulot.

MECANISMES PERMETTANT LA FINITION AUTOMATIQUE DES GOULOTS



MOUVEMENT DE LA BUSE
CAUSANT UNE DECOUPE PAR
LA SECTION TRANCHANTE



POSITION "GONFLAGE"

Figure 24

EXEMPLE DE BOUTEILLE NECESSITANT L'UTILISATION D'UN MOULE A SECTIONS AMOVIBLES

EXEMPLE DE MOULE A SECTIONS AMOVIBLES

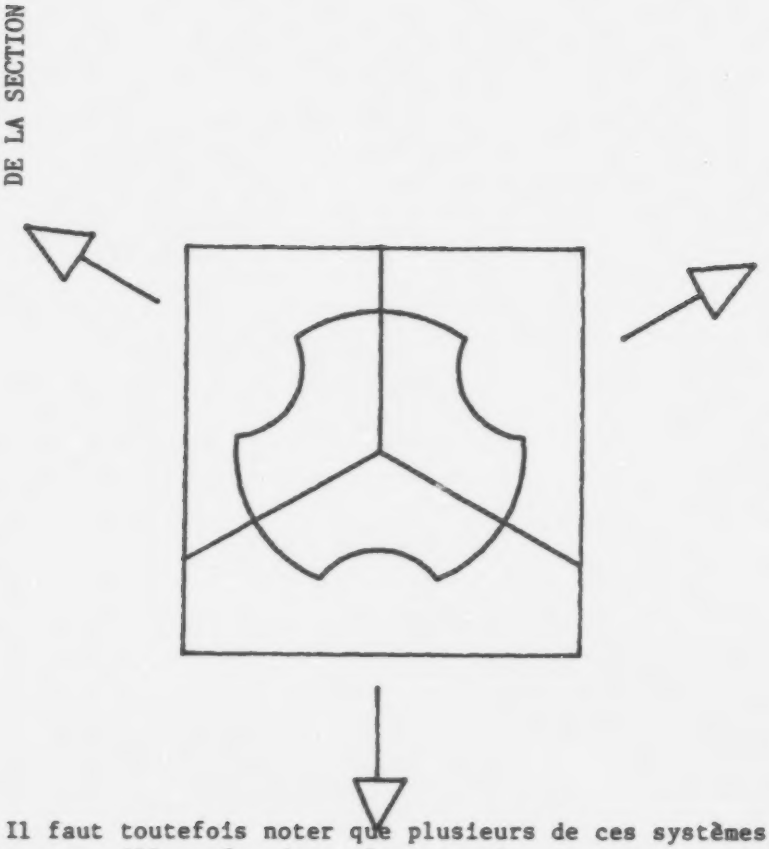


Figure 25

Il faut toutefois noter que plusieurs de ces systèmes, dont entre autres ceux illustrés dans les croquis ci-contre, sont protégés par

brevets.

Les sections tranchantes et les équipements de découpe montés sur le moule, sont généralement faits en acier pour mieux résister à l'usure.

5.2 LES MATERIAUX UTILISES DANS L'EXTRUSION SOUFFLAGE

5.2.1 CONFIGURATIONS PARTICULIERES

5.2.1.1 MOULES A SECTIONS MULTIPLES -

Bien que la majorité des moules n'ait que deux sections, certains designs nécessitent l'utilisation de moules plus complexes. Tel est le cas d'un moule pour des bouteilles triangulaires dont les faces sont fortement concaves.

A part la configuration particulière du moule, le moulage de cette pièce est similaire à celui d'un produit plus conventionnel.

Un autre exemple de moules à sections multiples, est celui du moulage d'un couvercle à double parois avec poignée intégrée.

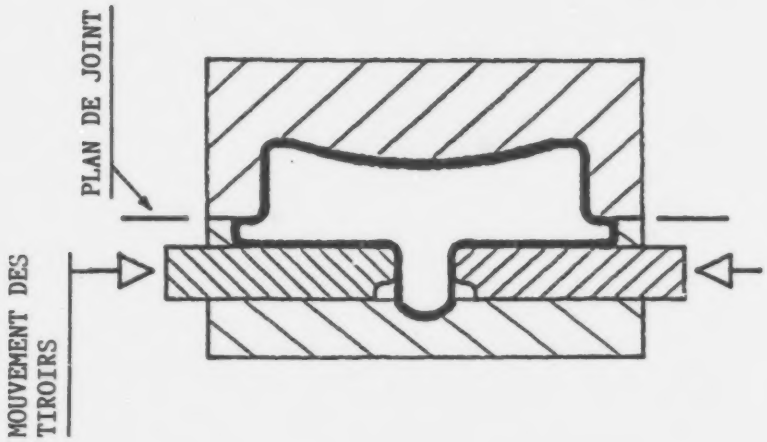
Dans ce cas, il s'agit de deux tiroirs qui sont actionnés après la fermeture du moule, ce qui permet de former la poignée de la pièce.

5.2.1.2 MOULE AVEC PRE-GONFLAGE DE LA PARAISON -

Certains designs exigeant un fort taux d'étirement nécessitent un pré-gonflage de la paraison avant qu'elle ne soit introduite dans le moule.

Cette opération doit être faite à moule ouvert de manière à ce qu'aucune section du moule ne limite le gonflement ou ne touche à la paraison et la refroidisse.

Pour gonfler la paraison alors que le moule est encore partiellement ouvert, il faut que ses extrémités soient fermés. Pour y arriver on a recours à un moule muni de languettes de coinçage



EXEMPLE DE PIECE NECESSITANT L'UTILISATION D'UN MOULE A TIROOIR

PIECE TYPE AVEC SECTION EN COUPE

Figure 26

Ces pièces sont actionnées avant la fermeture du moule et viennent saisir la base de la paraison et la pincer pour en assurer l'étanchéité avant de faire le pré-gonflage.

5.3 MATERIAUX POUR LA FABRICATION DES MOULES

5.3.1 CRITERES DE SELECTION

Parmi les facteurs dont il faut tenir compte pour la sélection du matériel servant à la fabrication des moules d'extrusion soufflage, il y a:

- Transfert de chaleur;
- Résistance à l'usure;
- Facilité d'usinage ou de coulée;
- Coût.

La qualité du transfert de chaleur est un élément clef pour atteindre des cadences de production élevées. Les moules sont percés de canaux de refroidissement dans lesquels circulent un liquide réfrigérant. Il importe que la chaleur du plastique soit rapidement dissipée à travers les parois du moule immédiatement après le gonflement de la pièce.

La résistance à l'usure est particulièrement importante dans les zones où il y a pincement ou compression de la paraison. Au besoin, ces zones peuvent être garnies d'un matériel plus résistant que celui ayant servi à la fabrication des coquilles du moule.

Les moules de métal sont souvent utilisés à cause de leur bon transfert thermique et de leur résistance mécanique. La sélection du matériel doit alors tenir compte de la facilité d'usinage ou de coulée du métal.

Le coût du moule doit être évalué en fonction du nombre de pièces à produire. Pour des séries limitées il est possible d'utiliser des alliages moins résistants à l'usure et souvent moins coûteux. A la limite, certaines courtes séries peuvent être faites dans des moules en époxy. Il faut, par contre, accepter un ralentissement de la cadence de moulage dû au faible transfert thermique de ce matériel.

5.3.2 MOULE EN FER OU EN ACIER

Bien que le fer et l'acier aient une bonne résistance à l'usure, ils sont relativement peu utilisés pour la fabrication des moules d'extrusion soufflage. Leur principal inconvénient étant leur mauvais transfert de chaleur.

5.3.3 MOULES EN METAUX NON FERREUX

5.3.3.1 ALUMINIUM ET SES ALLIAGES -

A cause de son bon transfert de chaleur, son faible poids et sa facilité d'usinage, l'aluminium est un matériau intéressant pour la fabrication des moules de soufflage. L'aluminium peut être usiné ou coulé. La principale faiblesse de l'aluminium est au niveau de sa résistance à l'usure. Certains grades tels que les types 6061 et 7075 sont cependant plus résistants.

L'aluminium pur a un bon transfert thermique, mais il est relativement difficile à couler. Certains alliages d'aluminium, tout en maintenant des propriétés thermiques acceptables, en facilite la coulée.

5.3.3.2 CUIVRE ET SES ALLIAGES -

Les alliages cuivre/béryllium/cobalt sont plus résistants à l'usure que ceux faits en aluminium, ils sont aussi plus faciles à réparer et ont un bon transfert de chaleur. Cependant ils sont plus coûteux.

Ce matériau est utilisé pour les moules de qualité supérieure et lorsque des grandes séries sont considérées. Il faut toutefois tenir compte du fait que la densité de cet alliage est supérieure à celle de l'aluminium, ce qui sur certains équipements, peut poser un problème.

Pour certains moules, seuls les éléments soumis à une forte mesure seront produits en cuivre béryllium.

5.3.3.3 ZINC -

Le zinc est un matériau économique qui est aussi utilisé pour la fabrication des moules d'extrusion soufflage. Bien qu'il offre un transfert de chaleur moins bon que celui de l'aluminium et des alliages de cuivre, le zinc est plus facile à couler. Il produit des pièces coulées qui sont moins poreuses, ce qui améliore le transfert thermique.

5.3.3.4 AUTRES TYPES D'ALLIAGES NON METALLIQUES -

Les bronzes et les laitons sont parmi les alliages parfois utilisés pour la fabrication des moules d'extrusion soufflage.

Souvent ces alliages sont retenus à cause de leur facilité de coulée et leur bon transfert thermique, il faut toutefois tenir compte de leur résistance mécanique relativement faible.

5.3.4 MOULE EN RESINE COULEE

Pour des séries limitées, il est possible de produire des moules en époxy. Cette matière facile à couler permet la production de moules dont le coût peut être d'environ 10 à 15% celui des moules métalliques. Cependant, la vie du moule est limitée à quelques dizaines ou quelques centaines de pièces.

Comme les résines synthétiques ont un mauvais transfert de chaleur, celui-ci est amélioré en ajoutant des particules métalliques à la résine de coulée.

Les zones de pincement et de compression peuvent être serties de bandes métalliques, ce qui en améliore la tenue à l'usure.

Les principales raisons justifiant l'utilisation de ces moules sont essentiellement la mise au point du design d'une pièce et la réalisation de petites séries. La technique demeure toutefois très appropriée dans ces circonstances.

CHAPITRE 6

MATÉRIAUX UTILISÉS POUR LE MOULAGE

6.1 NORMES GENERALES

Théoriquement, tous les types de thermoplastiques pourraient être utilisés dans le moulage par extrusion soufflage.

Cependant, seuls des grades spécifiques sont employés. Cette situation est attribuable aux contraintes apportées par la spécificité de la technique de moulage.

La matière doit d'abord être extrudée verticalement et son indice de fluidité doit être tel qu'il permet une bonne mise en forme sans toutefois provoquer un étirement excessif de la paraison sous son propre poids.

Une fois extrudée, la paraison coincée dans le moule, doit être gonflée de manière à rejoindre toutes les surfaces du moule. La matière doit supporter cet étirement de manière à bien épouser les formes du moule.

Au-delà des paramètres reliés au procédé, il faut compter avec ceux fixés par le produit. Des facteurs tels que la résistance mécanique ou à fissuration sous contraintes font partis de cette liste de contraintes spécifiques à l'utilisation.

La majorité des fournisseurs de matières premières offrent des grades de résines spécialement adaptés pour l'extrusion soufflage. Règle générale, les caractéristiques de celles-ci étant au niveau de leur densité et de leur indice de fluidité.

6.2 LES DIVERS GRADES DE MATERIAUX

Pour des raisons de "marchés", les polyoléfines et les PVC sont les deux principaux plastiques utilisés par extrusion soufflage.

Le polyéthylène à haute densité est largement employé pour le moulage des contenants et autres objets creux. C'est une matière économique offrant une certaine résistance à la corrosion et qui se transforme bien.

Dans la plupart des pays industrialisés, le HDPE occupe plus de 50% de la consommation totale de résine utilisée pour le soufflage.

En Europe, le PVC vient au deuxième rang au niveau de la consommation des résines de soufflage. Aux USA, le deuxième rang est occupé par le PET, alors qu'au Japon, il est partagé par les LDPE et PET.

Bien que le soufflage ait toujours connu une croissance remarquable, son utilisation s'élargit de plus en plus rapidement. Les nouvelles résines telles que PET et les grades d'ingénierie sont en partie responsables de cette situation.

Le PET ouvre le marché des bouteilles pour les boissons gazeuses, ceci est dû à sa bonne résistance aux boissons carbonatés.

Au niveau des résines d'ingénierie, ils s'agit de grades tels que les polycarbonates, les nylons et les acétales qui sont maintenant compatibles avec le procédé de soufflage.

Ces résines ouvrent de nouveaux champs d'application pour le soufflage et qui sont dans des secteurs non traditionnels, tels que les marchés de la bureautique ou des composantes d'habillage automobile.

Parmi les nouveaux grades de résines pour extrusion soufflage, il faut enfin noter certains thermoplastiques élastomériques (TPE) qui sont employés dans le domaine automobile.

6.2.1 HDPE

La majeure partie du HDPE utilisé par soufflage sert le marché

des contenants d'emballage. Les propriétés de la résine varient en fonction du type de marché.

Les contenants pour les détersifs et les produits chimiques exigent des HDPE ayant une bonne résistance à la fissuration sous contrainte et une résistance à l'impact. En général, les grades ayant une basse densité, un bas indice de fluidité et une large distribution moléculaire, répondent mieux à ces exigences.

Pour des contenants alimentaires (lait, eau, ect.), la rigidité est le principal facteur, les bouteilles peuvent alors être plus minces et d'un coût plus compétitif. Dans ce cas, des grades de HDPE ayant une plus forte densité et une distribution des poids moléculaires plus étroites, sont employés.

Les HDPE peuvent être aussi utilisés pour le moulage des grands contenants, tels que des barils de 45 gallons. Dans ce cas, des grades à haut poids moléculaire (HMW-HDPE), sont surtout employés.

La perméabilité aux gaz est un des défauts du polyéthylène. Il est cependant possible de palier à cet inconvénient en bâtissant une barrière imperméable à l'intérieur de la pièce.

Pour y arriver on a recours à l'injection de gaz, tels que le fluor ou le chlore, qui sous certaines conditions réagissent avec le polyéthylène pour former une croûte imperméable.

Cette technique encore nouvelle, ouvre la voie à l'utilisation du HDPE pour des applications telles que les réservoirs à essence d'automobile.

6.2.2 LDPE

Les polyéthylènes à basse densité sont moins utilisés à cause de leur plus faible résistance structurale.

On les retrouvent surtout dans le moulage de certains types de bouteilles "écrasables" (squeeze-type).

LISTE DE QUELQUES MATERIAUX POUR LE MOULAGE PAR SOUFFLAGE

PE HDPE

FOURNISSEUR	TYPE	GRADE	RESIST. TENS. 10E2/CM2	TEMP.DEF.C 04.64KG/CM2
SOLTEX	FORTIFLEX	K50-30-135	2.531	67
DU PONT	ALATHON	L5840	3.023	73
SOLTEX	FORTIFLEX	R53-35H-124	2.601	72
SOLTEX	FORTIFLEX	B54-25H-96	2.882	72
SOLTEX	FORTIFLEX	B54-35H-124	2.882	--
SOLTEX	FORTIFLEX	B54-25H-117	2.882	--
SOLTEX	FORTIFLEX	G60-80-96	3.234	--
SOLTEX	FORTIFLEX	B54-25H-124	2.882	--
DU PONT	ALATHON	L5850	3.058	76
SOLTEX	FORTIFLEX	XF-451	3.023	87
AMOCO	----------	404-F3	3.164	--
HOECHST	HOSTALEN	GM 8255	2.461	--
UNION CARBIDE	DMDA	614/NAT-7	2.461	--
ALLIED	PAXON	AF40-003	2.179	66
UNION CARBIDE	DMDA	6143/NAT-7	2.531	--
HOECHST	HOSTALEN	GM 7746B	2.250	78
USI CHEMICAL	PETROTHENE	LB 830	3.086	--
USI CHEMICAL	NORCHEM	NHD-5402	2.250	--
ALLIED	PAXON	AB40-003	2.179	66
USI CHEMICAL	NORCHEM	NDH-5602	2.953	76
USI CHEMICAL	PETROTHENE	LB 832	3.128	--
CHEVRON CHIM.	----------	HID 9512	2.671	--
USI CHEMICAL	PETROTHENE	LC 732	2.707	--
SOLTEX	FORTIFLEX	K50-30-135	2.531	67
PHILLIPS	MARLEX HHM	4903	2.531	--
CHEVRON CHI.	----------	HID 9406	2.671	--
ALLIED	PAXON	AB50-003	2.601	69
USI CHEMICAL	NORCHEM	NHD-5003	2.742	74
ALLIED	PAXON	AA55-003	2.812	73
ALLIED	PAXON	AB55-003	2.812	73
USI CHEMICAL	----------	LR 732	2.601	--
CEVRON CHI.	----------	HID-9410	2.777	--
PHILLIPS	MARLEX HHM	5202	2.742	--
USI CHEMICAL	NORCHEM	NHD 5604	2.953	76
BAMBERGER	BAPOLENE	2001	2.953	76
PHILLIPS	MARLEX HHM	5502	2.812	--
USI CHEMICAL	PETROTHENE	LR 734	2.707	--
USI CHEMICAL	PETROTHENE	LB 710	3.149	--
USI CHEMICAL	PETROTHENE	LB 748	3.164	--
AMOCO	----------	408-F3	3.234	128
USI CHEMICAL	PETROTHENE	LR 711	3.304	--

FOURNISSEUR	TYPE	GRADE	RESIST. TENS. 10E2/CM2	TEMP.DEF.C @4.64KG/CM2
PE HDPE (suite)				
PHILLIPS	MARLEX HXM	50100	2.671	--
USI CHEMICAL	NORCHEM	NHD 5703	2.742	--
USI CHEMICAL	NORCHEM	NHD 5701	2.742	--
USI CHEMICAL	NORCHEM	NHD 5408G	2.461	--
USI CHEMICAL	NORCHEM	NHD 5704	2.742	69
SOLTEX	FORTIFLEX	060-25-19	3.234	120
ALLIED	PAXON	AG 55-003	2.812	73
ALLIED	PAXON	AA60-003	3.093	79
PHILLIPS	MARLEX EHM	6003	3.093	--
USI CHEMICAL	NORCHEM	NHD 6004	3.093	80
CHEVRON CHI.	----------	HID 9402	2.953	--
SOLTEX	FORTIFLEX	A60-70-119	3.023	117
ALLIED	PAXON	AD60-007	3.093	79
CHEVRON CHI.	----------	HID 9416	3.374	--
ALLIED	PAXON	AA60-007	3.093	79
PHILLIPS	MARLEX EHM	6006	3.093	--
BAMBERGER	BAPOLENE	2011	3.093	80
USI CHEMICAL	NORCHEM	NHD 6009	3.093	80
BAMBERGER	BAPOLENE	2101	2.742	74
USI CHEMICAL	NORCHEM	NHD 5713	2.671	69
USI CHEMICAL	NORCHEM	NHD 6007	3.093	--
PHILLIPS	MARLEX	EHM 6007	3.093	--
DOW CHEMICAL	----------	HDPE 40054P	2.742	--
SOLTEX	FORTIFLEX	XF-528B	3.023	72
PHILLIPS	MARLEX	HHM 4903	2.531	--
PHILLIPS	MARLEX	HXM 50100	2.671	--
PHILLIPS	MARLEX	HHM 5202	2.742	--
PHILLIPS	MARLEX	HHM 5502	2.812	--
PHILLIPS	MARLEX	EHM 6003	3.093	--
PHILLIPS	MARLEX	EHM 6006	3.093	--
PHILLIPS	MARLEX	EHM 6006	3.093	--
PHILLIPS	MARLEX	EHM 6007	3.093	--
USI CHEMICAL	NORCHEM	NHD 5002	2.531	21
HOECHST	HOSTALEN	GM 6255	2.461	--
DU PONT CAN.	SCLAIR	59 C	3.164	--
DU PONT CAN.	SCLAIR	58 A	2.882	--
DU PONT CAN.	SCLAIR	58 D	2.805	--
DU PONT CAN.	SCLAIR	59 C	3.164	--
DU PONT CAN.	SCLAIR	59 A	3.164	--
DU PONT CAN.	SCLAIR	58 D	2.805	--
DU PONT CAN.	SCLAIR	58 A	2.882	--
DU PONT CAN.	SCLAIR	56 B	2.500	--

FOURNISSEUR	TYPE	GRADE	RESIST.TENS. 10E2/CM2	TEMP.DEF.C @4.64KG/CM2
NYLON				
DUPONT	BEXLOY	AP-C-803	6.749	157
PE COPOLYMER				
UNION	DMDA	6145-NAT 7	2.531	--
SOLTEX	FORTIFLEX	B53-35H-126	2.601	72
SOLTEX	FORTIFLEX	B50-20H	2.461	69
SOLTEX	FORTIFLEX	B54-25H	2.882	72
SOLTEX	FORTIFLEX	B50-35H	2.601	69
SOLTEX	FORTIFLEX	B53-35H	2.601	72
SOLTEX	FORTIFLEX	K44-11-121	2.461	71
SOLTEX	FORTIFLEX	K44-11-128	2.461	95
SOLTEX	FORTIFLEX	XF-451	2.981	87
SOLTEX	FORTIFLEX	XF-409	2.671	92
AMOCO	----------	203 F3	2.531	--
AMOCO	----------	203 C3	2.531	--
AMOCO	----------	303 F3	2.742	--
AMOCO	----------	303 C3	2.742	--
PE LLDPE				
UNION	G-RESIN	7064/NAT7	4.359	--
NOVACOR	NOVAPOL LL	GX-3510-P	3.867	--
NOVACOR	NOVAPOL LL	GX-4010-P	3.093	--
PPO MODIFIED				
G.E. NORYL	NORYL	BN 11	3.656	--
G.E. NORYL	NORYL	BN 13	4.570	--
G.E. NORYL	NORYL	BN 15	6.327	--
G.E. NORYL	NORYL	BN 25	7.241	--
G.E. NORYL	NORYL	BN 30	4.359	--
G.E. NORYL	NORYL	BN 31	4.921	--
G.E. NORYL	NORYL	BN 41	4.570	--
G.E. NORYL	NORYL	BN 43	4.921	--

FOURNISSEUR	TYPE	GRADE	RESIST. TENS. 10E2/CM2	TEMP.DEF.C @4.64KG/CM2
PP COPOLYMERE				
COSDEN	DYPRO	K-122	2.812	79
COSDEN	DYPRO	K-2227	3.445	96
EL PASO PROD.	----------	PP 23S2	2.953	98
EL PASO PROD.	----------	PP 23T2	2.953	98
EL PASO PROD.	----------	PP 24T2	2.742	81
HIMONT	----------	SB-833	3.234	83
USI CHEMICAL	NORCHEM	NPP 7200AF	2.953	88
USI CHEMICAL	NORCHEM	NPP 7200GF	2.953	88
USI CHEMICAL	NORCHEM	NPP 7300GF	2.953	88
SOLTEX	FORTILENE	41X03	2.812	98
SOLTEX	FORTILENE	41X04	2.742	95
USI CHEMICAL	NORCHEM	NPP 7300KF	2.953	88
SOLTEX	FORTILENE	4141	2.671	85
EXXON	ESCORENE	9022	3.304	--
EXXON	ESCORENE	9032	3.234	--
SOLTEX	FORTILENE	41X09	2.742	95
EL PASO PROD.	REXENE	PP 23R2A	2.756	88
EL PASO PROD.	REXENE	PP 23B2A	2.812	--
SOLTEX	FORTILENE	41X11	2.742	--
PVC RIGID				
GEORGIA GULF	----------	9105	4.148	--
GEORGIA GULF	----------	9112	4.499	--
GEORGIA GULF	----------	8237	4.640	--
GEORGIA GULF	----------	9160	4.991	--
GEORGIA GULF	----------	9204	4.429	--
OCCIDENTAL	OXYBLEND	VBO-161 J	4.570	--
OCCIDENTAL	OXYBLEND	VBO-206 O	4.218	--
OCCIDENTAL	OXYBLEND	VBO-2785 A	5.062	--
OCCIDENTAL	----------	3780	5.132	--
OCCIDENTAL	----------	3790	4.499	--
GEORGIA GULF	----------	9152	4.991	--

FOURNISSEUR	TYPE	GRADE	RESIST.TENS. 10E2/CM2	TEMP.DEF.C @4.64KG/CM2
PE LDPE				
EL PASO PROD.	----------	PE-107	1.125	--
MOBIL CHEM	----------	LCA-012	1.055	--
DU PONT	ALATHON	2020	0.984	44
USI CHEMICAL	NORCHEM	NPE-810	0.984	49
DU PONT	ALATHON	20	0.984	44
MOBIL CHEM	----------	LYA-013	1.076	--
MOBIL CHEM	----------	MYA-023	1.125	--
EL PASO	----------	PE-142	1.055	--
USI CHEMICAL	NORCHEM	NPE 822	0.984	45
USI CHEMICAL	NORCHEM	NPE 814	1.547	50
USI CHEMICAL	NORCHEM	3509	1.687	--
TPE OLEFINIC				
RESEARCH POLY.	REN-FLEX	D-260	-------	--
TPE POLYESTER				
CELANESE	RITEFLEX	355	-------	--
PP				
ARISTECH	----------	USSF 007	3.374	99
USI CHEMICAL	NORCHEM	NPP 7001 DJ	3.515	110
TPE				
CELANESE	RITEFLEX	355 ZS	-------	--

FOURNISSEUR	TYPE	GRADE	RESIST.TENS. 10E2/CM2	TEMP.DEF.C @4.64KG/CM2
PC POLYCARBONATE				
GE PLAST.	LEXAN	BL12	5.019	--
PC POLYESTER				
GE PLAST.	XENOX	BX 14	4.921	--
ASA				
GE PLAST.	GELOY	BG 10	3.867	--
ABS				
BORG WARNER	CYCOLAC	MSB	3.248	99
BORG WARNER	CYCOLAC	MSD	4.499	98
BORG WARNER	CYCOLAC	MSC	3.480	100
PPE ALLOY				
BORG WARNER	PREVEX	MPF	4.218	--
BORG WARNER	PREVEX	MVF	4.570	--
BORG WARNER	PREVEX	MPR	4.921	--
BORG WARNER	PREVEX	MVP	5.273	--
BORG WARNER	PREVEX	W20	4.007	--
PVC FLEXIBLE				
COLORITE	UNICHEM	7712F-NBBM	2.102	--

6.2.3 POLYPROPYLENE

Jusqu'à récemment, le polypropylène était peu utilisé par le procédé de soufflage. Ce matériel n'étant pas d'un coût compétitif avec le HDPE et n'offrant pas une bonne résistance au froid.

L'introduction de nouveaux copolymères à base de polypropylène est en train de changer cette situation. Ceux-ci permettent de mettre à profit les avantages structuraux offerts par ce matériau.

Il est alors possible de produire des pièces plus minces et tout aussi résistantes, le PP devenant alors compétitif au HDPE.

Le polypropylène se prête très bien à la bi-orientation soufflage. Cette technique améliore considérablement les propriétés mécaniques du PP.

Un des marchés sur lequel le polypropylène est actuellement testé est celui du moulage des contenants pour les huiles moteur.

6.2.4 PVC

Le succès du PVC dans le domaine de l'extrusion soufflage des contenants, est en majeure partie dû à ses bonnes propriétés mécaniques, à sa bonne tenue aux agents corrosifs et surtout à sa grande transparence.

L'utilisation du PVC fut temporairement freinée par des controverses au sujet de son utilisation dans le secteur alimentaire.

Le PVC étant sensible à la dégradation thermique, il doit contenir des stabilisants, qui dans certains cas peuvent en limiter l'utilisation sur certains marchés.

Le PVC est désormais approuvé pour plusieurs applications alimentaires et de nouveaux types de stabilisants ont réduit ses effets sur le goût et les odeurs qu'il donnait aux aliments.

6.2.5 PET

Les polytéréphtalates d'éthylène (PET) connaissent depuis quelques années un succès important dans le marché des bouteilles de boisson gazeuse.

La bonne tenue au CO est la principale raison justifiant l'utilisation de cette résine.

Le PET est un matériel structural, qui offre une bonne transparence. Son utilisation est de plus en plus répandue et elle touche maintenant même le domaine des bouteilles de bière. Ses

principales limitations sont sa forte reprise en humidité de même que sa faible résistance thermique, qui se situe à 70 C.

Il faut enfin noter que la grande majorité du soufflage du PET se fait par injection soufflage et que dans plusieurs cas il y a également bi-orientation.

L'injection soufflage est mieux adaptée au matériau et aux produits tandis que la bi-orientation permet d'en accroître sensiblement ses propriétés mécaniques.

6.2.6 RESINES D'INGENIERIE

L'introduction des résines d'ingénierie aux techniques de soufflage élargit considérablement le potentiel de la technique.

Parmi les résines d'ingénierie qui sont déjà adaptées au procédé de soufflage, il y a le polycarbonate, le ABS, certains nylons, les acétales et les polysulfones.

Plusieurs nouvelles catégories de type "hybrides" telles que les "BEXLOY" de DUPONT et "XENOY" de GENERAL ELECTRIQUE sont aussi disponibles dans des grades de soufflage.

La mise en forme des résines d'ingénierie exige souvent des modifications aux équipements. La puissance et la configuration des unités de plastification doivent être modifiées. De même il faut plus de force de fermeture sur les presses, dû à des pressions de soufflage plus grandes.

Les moules ont souvent avantage à être chauffés, à cause de la haute viscosité des matières ce qui en rend la mise en forme plus difficile.

6.2.7 TPE

Les TPE sont des élastomères thermoplastiques. L'adaptation de ces résines au procédé de soufflage sert déjà dans l'industrie automobile, pour la fabrication de couvre joints.

Comme pour les résines d'ingénierie, les fournisseurs ont mis au point de nombreux grades de résines TPE, qui sont très prometteurs. Parmi ceux-ci, il y a le "HYTREL", un copolyester produit par DUPONT, de même que le "LOMOD" de GENERAL ELECTRIC.

Le moulage des TPE exige l'utilisation d'équipements plus précis, surtout à cause des étroites plages de température acceptées pour la transformation de ces résines.

CHAPITRE 7

DESIGN

7.1 FORMES ET STANDARDS DE MOULAGE REGLES DE DESIGN

7.1.1 Règles De Design

La technique du soufflage, par définition sert à la production de pièces creuses, telles que des contenants ou les produits à double parois.

Les trois critères de base pour la conception d'un produit soufflé sont:

- La taille et la complexité de la forme
- Le taux d'étirement
- Les détails du design

7.1.2 LA TAILLE ET LA COMPLEXITE DE LA FORME

La technique de soufflage s'adapte à la production de pièces dont le volume peut aller de quelques onces à plus de 45 gallons.

Les pièces symétriques et relativement simples sont plus aisées à produire, car elles facilitent la conception du moule, au niveau du plan de joint.

Des angles de démoulage suffisants doivent être prévus pour faciliter l'ouverture du moule et l'éjection de la pièce.

Les grands rayons de raccord donnent des pièces plus solides et dont les coins sont moins amincis par l'étirage du matériel.

Afin d'éviter les gauchissements et les déformations, il est préférable de remplacer les grandes surfaces planes par des sections concaves ou convexes. La formation de cannelures ou de renforts intégrés à la paroi, aide à garder les surfaces droites.

7.1.3 LE TAUX D'ETIREMENT DE LA PARAISON

Ce facteur a beaucoup d'influence sur la qualité du produit moulé. La paraison chaude étant gonflée pour atteindre et se conformer à toutes les surfaces du moule, il en résulte un étirement plus ou moins important, qui se traduit par une variation dans l'épaisseur de la pièce.

A la limite, un étirement exagéré peut causer une perforation locale, entraînant le rejet de la pièce.

La paraison est une forme continue qui est obtenue par extrusion, d'autre part, le moule de par sa forme, impose un taux d'étirement variable en fonction de sa configuration. Comme la paraison est généralement insérée au centre du plan de joint, une pièce symétrique est plus facile à produire que celle ayant un étirement local très prononcé.

Il faut aussi tenir compte de la variation du taux d'étirement causée par certains détails du moule. Par exemple, une cannelure ou un creux dans le mur du moule, imposeront un étirement local de la paraison, après que celui-ci aura déjà été gonflé pour atteindre cette section.

Jusqu'à un certain point, le mouleur peut compenser les variations d'étirement en adaptant la forme et l'épaisseur de la paraison.

Par exemple, pour une bouteille fortement ovale, la paraison, au lieu d'être cylindrique, sera plus ou moins elliptique.

Il est aussi possible de varier l'uniformité d'épaisseur de la paraison, soit selon un mode longitudinal, en utilisant un programmateur de paraison qui permet de varier l'épaisseur de la paraison à diverses zones de sa longueur; ou en moulant une paraison dont l'épaisseur n'est pas la même à divers points sur sa circonférence (programmation circonférentielle).

7.1.4 LES DETAILS DE DESIGN:

Par détails du design, il faut entendre des élérents tels que le moulage des filets, l'insertion de prisonniers et la compression d'oreilles d'ancrage.

7.1.4.1 FILETS -

Le soufflage est largement utilisé pour la production des bouteilles, pour cette raison, la production de filets étanches est un requis essentiel. Certaines configurations de filets standards furent adaptées au soufflage et permettent d'obtenir une très bonne qualité.

Il existe toutefois deux contraintes importantes dans la production de filets, les modèles très complexes, tels que ceux requis sur les contenants à ouvertures sécuritaires, sont souvent très mal adaptés à l'extrusion soufflage. De même, les filets internes sont particulièrement difficiles à produire. Pour pallier à ces deux problèmes, on a recours à l'injection soufflage ou à l'incorporation d'inserts.

7.1.4.2 INSERTS -

Bien que relativement aisé, l'ajout d'inserts allonge sensiblement le cycle de moulage. Ces prisonniers peuvent être en métal ou en plastique moulé par injection.

Les inserts permettent de créer certains points d'ancrage ou de reproduire des sections complexes ne pouvant être obtenues adéquatement par étirage de la paraison.

7.1.4.3 COMPRESSION -

La fermeture du moule et le coinçage de la paraison peuvent être mis à profit pour produire des zones dites de "compression". Il s'agit de sections où les deux parois de la paraison sont localement écrasées et soudées l'une sur l'autre.

Ces zones de compression peuvent donner des renforts locaux ou le plus souvent, créer des oreilles d'ancrage sur le contour de la pièce.

7.2 IN-MOLD LABELING

Le soufflage étant une technique qui s'adresse en particulier au domaine de l'emballage, des opérations secondaires, d'étiquetage et de décoration sont nécessaires.

Une récente technique permet d'améliorer la qualité de ces opérations tout en les simplifiant, il s'agit du "in-mold labeling".

Cette méthode consiste à introduire l'étiquette directement dans le moule, avant de faire le soufflage. La paraison est alors gonflée en se collant contre l'étiquette et en l'emprisonnant de la même façon qu'elle le ferait pour un insert.

Les avantages offerts par cette procédure sont:

- Amélioration esthétique de l'étiquettage;
- Meilleure adhésion de l'étiquette;
- Réduction possible du poids de plastique;
- Economie au niveau de la production.

7.2.0.1 AMELIORATION ESTHETIQUE -

Le fait que l'étiquette se trouve encastrée dans la paroi plastique au lieu d'y être simplement appliquée, augmente l'apparence de la pièce. L'étiquette devient alors partie intégrante de la bouteille et non plus un papier en surface.

EXEMPLE D'UTILISATION D'UN MOULE AVEC DES ZONES A COMPRESSION

LA COMPRESSION DURANT LA FERMETURE DU MOULE, PRODUIT LES OREILLES D'ANCRAGE

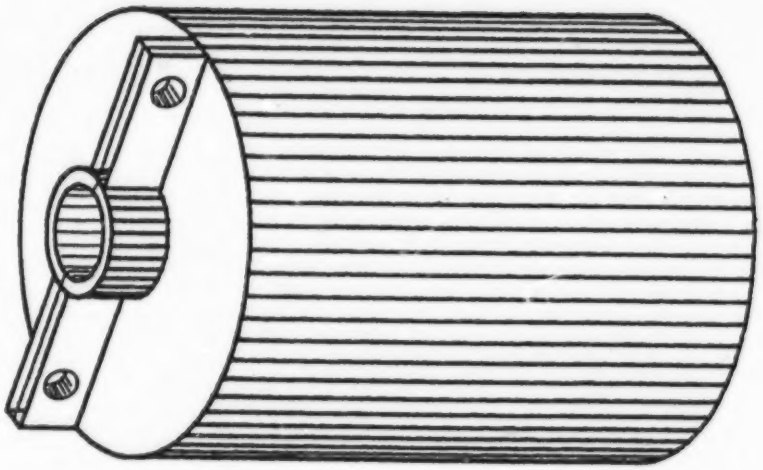


Figure 27

(paraison pinch bar).

Cette technique permet à l'étiquette de mieux épouser les formes de la pièce, évitant les bulles d'air ou les plissages. Dans le domaine de l'emballage, l'esthétique du contenant est souvent un facteur déterminant sur l'achat du produit, d'où l'importance de la technique "in-mold labeling".

7.2.0.2 AMELIORATION DE L'ADHESION -

En ce qui a trait à la qualité de l'adhésion, elle est améliorée par le fait que l'étiquette est incorporée au mur de la bouteille et qu'il n'offre plus de bordures exposées.

Cette meilleure adhésion offre aussi un avantage au niveau de la responsabilité du manufacturier. L'étiquette devenant partie intégrante du contenant, il n'est plus possible d'enlever aussi facilement les "mises en garde" importantes dans l'emballage de produits chimiques.

7.2.0.3 REDUCTION DE POIDS -

Les tests mécaniques faits sur des pièces ayant un "in-mold labeling", ont démontré qu'à épaisseur de plastique égale, les bouteilles avec "in mold labeling" ont une plus grande résistance.

La présence d'un papier intégré et l'orientation moléculaire occasionnée par sa présence sont les causes de l'augmentation des propriétés. Des mouleurs ont déjà mis ce phénomène à profit et obtenus des diminutions de poids de 10 à 30% tout en maintenant la qualité structurale du produit.

7.2.0.4 ECONOMIE AU NIVEAU DU PROCEDE -

Les postes d'étiquettage sont des opérations coûteuses, encombrantes et d'ajustements complexes. Le "in-mold labeling" permet de palier à ces inconvénients.

Les étiquettes sont placées dans un chargeur situé à la machine d'où ils sont pris par un robot qui les place dans le moule. Elles y sont maintenues par vacuum jusqu'à ce que la paraison les coince.

Il importe cependant que les manipulateurs soient très précis afin de bien positionner l'étiquette.

7.3 EXTRUSION SOUFFLAGE DES PRODUITS MULTICOUCHES

Certaines contraintes font en sorte que le type de plastiques pouvant être employé n'est pas acceptable au niveau de son prix ou de ses conditions de moulage.

La solution à ce problème consiste à utiliser une combinaison de couches de différents plastiques, chacun ayant des propriétés particulières.

Cette technique de coextrusion permet de produire une paraison multicouche, qui à son tour forme un contenant dont les parois sont faites de différents matériaux laminés.

En général, les produits coextrudés ont entre 2 et 6 couches; certaines étant faites d'adhésifs ayant pour but d'améliorer la cohésion inter-couche.

Quelques unes des propriétés qu'il est possible de combiner par la coextrusion sont: l'économie, l'imperméabilité aux gaz, la résistances aux U.V., la rigidité et la facilité de mise en forme.

A titre d'exemple, les polyéthylènes et les polypropylènes ne sont pas imperméable aux gaz. La coextrusion de ces polyoléfines autour d'une couche d'EVAL (ethylene vinyl alcohol) permet de solutionner le problème tout en maintenant les avantages économiques de PE et PP.

Bien que la couche de EVAL offre une bonne tenue aux gaz, employée seule, elle ne serait pas économique et elle serait difficile à mouler. De plus le EVAL absorbe facilement l'humidité.

Il y a plusieurs autres combinaisons possibles, qui dans chaque cas, répondent à un besoin précis. Le tableau qui suit illustre quelques types de coextrusion rencontrés plus fréquemment.

APPLICATIONS RECHERCHEES	PROPRIETES INTERIEURE	COMBINAISON DES COUCHES CENTRE		EXTERIEURE
(2 couches) Détergents et cosmétiques	lustre en surface	HDPE	-	LDPE
(3 couches) Insecticides et produits chimiques	résiste à la corrosion	PA	ADHESIF	PE
Cosmétiques et produits médicaux	résiste aux égratignures "squeezable"	HDPE LDPE PP	ADHESIF	PA EVAL
Lait	résiste aux U.V.	HDPE blanc	HDPE noir	HDPE blanc
Produits alimentaires	emplir à chaud imperméable aux gaz transparent	PP EVAL PC	ADHESIF EVAL PET	PA PC
(5 ou 6 couches) Produits alimentaires	emplir à chaud insensible à l'humidité "squeezable" transparence imperméable aux gaz	PP ADHESIF	EVAL ADHESIF PP	ADHESIF PP

Dans le cas des produits à 6 couches, la cinquième couche sert à employer le matériel regranulé.

Table 3: Exemple de produits multicouches faits par soufflage

7.3.1 APPLICATIONS TYPES DES PRODUITS MULTICOUCHES

Des combinaisons multicouches permettent de contenir des produits alimentaires tels que des "ketchup" et des mayonnaises, avec des durées de vie d'entreposage tout à fait acceptables. (6 mois à 24 mois)

Une des contraintes pouvant être rencontrée avec les coextrusions est celle du remplissage à chaud. Dans ce genre d'application des combinaisons telles que PP/EVAL servent déjà pour le "ketchup".

Dans certaines coextrusions, la transparence demeure discutable. C'est entre autre ce qui arrive avec les grades utilisant des polyoléfines. Les polycarbonates permettent de contourner le problème, cependant il ne répondent pas aux mêmes critères de corrosion que les polyoléfines et ils ne peuvent pas être employés pour les bouteilles écrasables (squeezable).

Les épaisseurs des différentes couches sont relativement minces, par exemple, les couches de plastiques peuvent être d'environ 0.010" et les couches de résines adhésives de 0.001" à 0.0015".

Les couches adhésives ne sont requises que lorsque les produits ne sont pas compatibles. Dans le cas où la coextrusion se fait avec des résines du même type, il n'y a généralement pas d'adhésif, ce qui simplifie l'opération.

7.3.2 VARIANTE DU PROCEDE DE COEXTRUSION

En plus des multicouches superposées, certains designs exigent des parois faites de différents plastiques placés côte à côte.

Tel est le cas des contenants pour huile à moteur, qui ont une bande indicatrice de niveau, moulée sur le côté. Il s'agit d'un type de coextrusion utilisant généralement du HDPE avec une bande claire en LDPE.

7.4 APPLICATIONS TYPES

L'amélioration de la technologie et des équipements de moulage,

ainsi que la mise au point de nouveaux matériaux, sont autant de facteurs qui favorisent la diversification des marchés couverts par le procédé de soufflage.

Le but de la section qui suit, est de présenter quelques applications types, représentatives du potentiel offert par la technologie du soufflage.

Cette liste, bien qu'incomplète, montre la diversité des applications possibles pour la technologie du soufflage, surtout dans des domaines autres que ceux de l'emballage.

7.4.0.1 RESERVOIRS A ESSENCE POUR AUTOMOBILES -

Il est démontré que les réservoirs en plastique peuvent être plus sécuritaires que ceux en acier. En cas de feu, le réservoir en plastique fond et brûle lentement avec son contenu, au lieu de former un gaz et d'exploser comme ce peut être le cas d'un réservoir en métal.

De plus, le réservoir en plastique est plus léger que celui en acier et il permet, grâce au moulage, d'obtenir des formes complexes, utilisant mieux les espaces disponibles sous le véhicule.

En ce qui a trait à l'imperméabilité aux gaz, principal obstacle au HDPE, les techniques de fluorination ou de chlorination permettent de la résoudre. Ces méthodes consistent à injecter du fluor ou du chlore dans le réservoir encore chaud, de manière à ce que ces gaz forment une croûte imperméable au contact du plastique.

Bien qu'en Europe, les réservoirs à essence en plastique soient utilisés depuis quelques années, en Amérique cette pratique est moins répandue. La situation change rapidement et d'ici quelques années, il est probable que ce type de réservoirs sera standard sur les véhicules automobile.

7.4.0.2 GRANDES PIECES -

Alors que le soufflage fut longtemps limité à la fabrication de pièces relativement petites (moins de 5 gallons), il existe aujourd'hui des équipements et des matériaux qui permettent de produire des pièces de très grande taille.

Des barils de 45 gallons en HDPE sont commercialisés. Ces pièces qui résistent mieux à la corrosion que les barils de métal sont désormais standardisées et peuvent concurrencer les matériaux conventionnels.

Des planches à voile, d'une longueur de 3.9 m. sont produites en HDPE. La paraison qui les produit a 4 m de long sur un diamètre de 50 cm.

Parmi les plus grandes pièces rencontrées, il y a des réservoirs de 10,000 litres moulés en HDPE. Les paraisons produisant ces réservoirs ont plus de 4 m de longueur et pèsent 300 kg. Le cycle total pour produire un réservoir est de 13 minutes.

Les grandes pièces ouvrent au soufflage, un marché qui était jusque là couvert par les techniques de moulage au verre/polyester (composite) et au thermoformage. Avec des équipements de soufflage capables de produire de grandes pièces et compte tenu des avantages offerts par cette technique, le procédé sera un concurrent sérieux.

7.4.0.3 PIECES A DOUBLE PAROIS -

Les doubles parois ouvrent un vaste champs d'applications au procédé de soufflage. Des sièges de stade, des valises monocoques et des composantes de mobiliers de bureau sont autant d'exemples de pièces produites par soufflage.

En plus du polypropylène et du polyéthylène, des résines d'ingénierie telles que le polycarbonate et le ABS sont employées dans ce type de pièces.

7.4.0.4 COMPOSANTES D'HABILLAGE AUTOMOBILE -

Des pièces telles que des pare-chocs et des déflecteurs d'air sont actuellement produites par soufflage. Les résines utilisées sont des nylons, polycarbonates ou des polyesters.

Les nouveaux grades hybrides, tels que les XENOY, et BEXLOY sont aussi utilisés pour le moulage des pièces automobile.

7.4.0.5 COMPOSANTES ELECTRIQUES -

La firme GE a mis en marché des ampoules électriques pour arbre de noël, moulées en butadiène styrène par injection soufflage.

Des protecteurs de lampe sont moulés en polyarylate. Cette matière, en plus d'être transparente, offre un bonne résistance aux chocs.

Le polysulfone est utilisé pour la fabrication de châssis de moteurs électriques et pour des composantes d'une distributrice à café.

7.4.0.6 PRODUITS RECREATIFS ET D'USAGE DOMESTIQUE -

Des traîneaux, des planches nautiques, des grattoirs à neige et des brouettes de jardin, sont quelques unes des applications désormais couvertes par les produits soufflés.

7.4.0.7 CONTENANTS ET BOUTEILLES -

Ce marché traditionnellement couvert par le soufflage est en rapide progression. Les matériaux conventionnels furent déjà en partie remplacés par les plastiques produits par soufflage, sur le marché des boissons gazeuses, de la bière et même des pintes d'huile à moteur.

Même des produits conventionnels tels que les gallons de peinture font l'objet de recherches pour être remplacés par des pièces en HDPE soufflé. Selon les premiers résultats obtenus, il semble que ce secteur offre des possibilités très intéressantes pour le soufflage.

CHAPITRE 8

BILAN RECHNIQUE

8.1 BILAN TECHNIQUE DU PROCEDE DE SOUFFLAGE

8.1.1 CARACTERISTIQUES DU PROCEDE ET DE SES VARIANTES

Le procédé de soufflage, bien qu'il représente depuis longtemps un volume d'affaire appréciable pour l'industrie du plastique, demeure une technique relativement "mal connue".

Ce fait est sans doute relié à la spécificité de la technique, à ses nombreuses variantes et au fait qu'elle s'adresse à un secteur de marché très bien défini: celui de l'emballage.

L'extrusion soufflage ou l'injection soufflage sont souvent traitées dans les manuels techniques en tant que des variantes des technologies d'extrusion ou de soufflage.

Le procédé fut longtemps limité aux HDPE et aux PVC. Aujourd'hui, l'élargissement de la technique se fait sur deux fronts:

- Nouvelles applications dans les emballages;

- Secteur des composantes d'habillage.

Dans le premier cas, il s'agit entre autre, de marchés tels que celui des bouteilles d'eau gazeuse, des barils de 45 gallons et des réservoirs à essence d'automobile.

Dans le cas des pièces d'habillage et de structure, il peut s'agir des composantes automobile (pare-chocs et déflecteurs d'air) ou de composantes faites en double parois (tables d'ordinateur, porte bagages ect.)

Les variantes du procédé, que sont l'injection soufflage, la coextrusion, la bi-orientation de même que l'adaptation de résines d'ingénierie et de nouvelles résines "conventionnelles" sont quelques uns des facteurs qui contribuent aussi à la mise en valeur du procédé de soufflage.

8.1.2 COMPARAISON ENTRE LES VARIANTES DU PROCEDE DE SOUFFLAGE

La section suivante précise quelques caractéristiques propres aux diverses variantes de soufflage.

8.1.2.1 EXTRUSION SOUFFLAGE EN CONTINU -

- Adapté aux petites pièces (moins de 2.5 gals.)
- Contrôle d'épaisseur obtenu par programmation de la filière (possible bien que parfois difficile)
- Limitation dans la reproduction de fins détails
- Adapté à la coextrusion
- Biorientation possible
- Choix de matériaux relativement limité

8.1.2.2 EXTRUSION SOUFFLAGE INTERMITENTE -

- Adapté aux grosses et très grosses pièces
- Contrôle d'épaisseur obtenu par programmation de la filière (possible bien que parfois difficile)
- Limitation dans la reproduction de fins détails
- Adapté à la coextrusion
- Biorientation possible
- Choix de matériaux relativement limité

8.1.2.3 INJECTION SOUFFLAGE -

- Surtout utilisé pour les petites pièces (moins de 32 oz.)
- Permet un meilleur fini de surface que celui obtenu par les méthodes d'extrusion soufflage
- Bon contrôle d'épaisseur donné par le préforme injecté dans un moule mâle/femelle
- Capable de produire de fins détails, mais limité à des formes relativement simples
- Production multicouches possible mais avec un équipement relativement complexe
- Adapté à une forte productivité
- Biorientation possible

8.1.3 LA CAO/FAO ET L'EXTRUSION SOUFFLAGE

Les techniques de conception et de fabrication assistées par ordinateur sont déjà largement répandues dans le domaine du moulage par injection des thermoplastiques.

Ces méthodes permettent de prédire certains comportements du produit et des matériaux de manière à optimiser le design.

La CAO/FAO peut aussi être adaptée à la production par soufflage. Cette technique nécessitant toutefois la mise au point de logiciels totalement différents et qui intègrent plusieurs fonctions.

Au niveau du design de la pièce, les avantages de la CAO sont bien définis. Ils permettent de vérifier les formes et d'en valider l'esthétique.

En plus de l'aspect "marketing" de la forme, les logiciels conventionnels permettent de vérifier le comportement structural d'un contenant, en fonction de son épaisseur et du type de résine employée.

Une fois, la forme définie, les systèmes de FAO peuvent prendre la relève et usiner le moule. Au chapitre du refroidissement, il existe aussi des programmes qui sont en cours d'utilisation.

Là où l'extrusion soufflage est très spécifique, c'est au niveau du contrôle de l'épaisseur. Pour être vraiment efficace, un logiciel pour le soufflage devra tenir compte de certains paramètres de moulage tels que:

- La forme de la paraison;
- Les paliers de programmation d'épaisseurs;
- L'enflure sous relaxation (die swell);
- Le ratio d'étirement au soufflage;
- Les caractéristiques de la résine;
- Le temps de refroidissement;
- La perte de volume due au retrait;
- La résistance mécanique en fonction des épaisseurs obtenues au moulage.

8.1.4 NOTES SUR LES PROCEDES DE SOUFFLAGE

L'information technique disponible sur les techniques de soufflage, n'est pas, toute proportion gardée, aussi abondante que dans le cas de procédés conventionnels, tels que l'injection et l'extrusion.

Bien que de nombreux articles ou conférences soient publiés sur le sujet, aucun manuel complet n'est disponible, mis à part ceux publiés par des fournisseurs de matières premières.

Cette situation est sans doute attribuable à la diversité des systèmes de soufflage et au fait que cette technologie est souvent considérée comme une variante de l'extrusion des thermoplastiques.

Compte tenu de l'intérêt accru pour ce procédé. Il y aurait place pour la compilation d'un manuel technique détaillé, consacré au soufflage.

Egalement, la mise au point d'un logiciel assistant la conception de pièces produites par soufflage, serait aussi un autre complément avantageux.

Pour être efficaces, ces outils techniques devront cependant tenir compte des deux facteurs suivants:

- La diversité des variantes du procédé de soufflage;
- La nécessité d'un contrôle très large, intégrant simultanément plusieurs paramètres.

Les technologies de soufflage sont des procédés importants de transformations des plastiques. A la lumière des informations recueillies dans la compilation de ce dossier, il semble que ce procédé et ses variantes puissent encore se développer, tant dans les secteurs traditionnels que sur de nouveaux marchés. Cette réalité justifie la mise au point d'outils appropriés.

INDEX

Abs, 105
Accumulatrice, 28, 30
Acetal, 84, 93
Acier, 68, 77, 81
Aiguille, 5, 47, 64 à 66
Aluminium, 8, 68, 81

Bexloy, 93, 106
Bi-orientation, 5, 11, 13, 18 à 19, 92 à 93
Blow ratio, 9
Bouteille, 3 à 4, 13, 15, 18, 21, 43, 54, 74, 84 à 85, 92, 97 à 98, 103, 106, 107
Buse, 5, 65

Cane, 43
Cao/fao, 14, 109
Chrome, 43
Coextrusion, 5, 13, 19, 103, 108
Compression, 12, 36
Contenant, 3 à 4, 11 à 12, 14 à 15, 19, 47, 101, 106
Controle, 4, 9, 48 à 49

Decarottage, 8, 15, 48, 64, 68, 74
Decompression, 36
Design, 4, 9, 11 à 12
Distributrice, 25
Double paroi, 14, 77, 95, 105

Elastomeres, 11, 13, 93
Enflure, 46, 53, 56, 59, 110
Epaisseurs, 9, 15, 53 à 54, 63
Equerre, 34, 39 à 40
Equipement, 4, 6, 21, 23
Etancheite, 8, 48, 60, 74, 80
Etirement, 9, 11, 15, 53, 66
Eval, 101
Events, 8, 64, 70

Fermeture, 8, 46 à 47, 70
Filet, 12 à 13, 36, 63, 97
Filiere, 5 à 6, 9, 18, 24, 34, 39, 43 à 44, 56, 65, 108
Flash, 70
Fourreau, 30, 34 à 35, 38

45 gal, 4, 14, 95
Gonflage, 9, 64 à 66

Hdpe, 11, 21, 84 à 85, 91 à 92 103 à 106, 107
Historique, 3
Hmw-hdpe, 85
Hytrel, 94

In-mold, 98, 100
Insert, 5, 12, 97
Intermittent, 5, 8, 23, 28

Ldpe, 85, 103
Lomod, 94

Mandrin, 47
Monovis, 35
Moules, 8, 24 à 25, 46, 63, 72, 80 à 81, 106
Moules a section multiple, 77

Nylon, 11, 21, 84, 93, 106

Paraison, 4 à 6, 8 à 9, 12, 18, 23 à 24, 47, 54, 59
Pet, 11, 13 à 15, 18 à 19, 21, 84, 91, 93
Pincement, 8, 44, 64, 66, 68
Planche, 105 à 106
Plastification, 5 à 6, 34 à 36
Poincon, 9, 39 à 40, 43 à 44
Polyarylate, 106
Polycarbonate, 11, 13, 84, 93, 103, 105 à 106
Polypropylene, 11, 91, 101, 105
Polysulfone, 93, 106
Powder, 35, 38
Pre-gonflage, 80
Pression, 5, 12
Programmation, 9, 14, 25, 48
Pvc, 11, 13, 84, 92, 107

Qualite, 8, 14, 34

Refroidissement, 8, 14, 18, 35, 64, 72 à 73
Reservoir, 4, 14, 21, 47, 85, 104 à 105
Resine, 2
Resines, 3, 11, 84

Soudure, 8, 15, 30, 39 à 40
Swell, 46, 53, 56, 110

Temps, 8
Tiroir, 77
Tpe, 84, 93 à 94

Vis, 28, 30, 34 à 35, 38 à 39, 50
Vitesse, 18

Xenoy, 93, 106